

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE
INGENIEROS DE MONTES**



PROYECTO FIN DE CARRERA

**"ESTUDIO DE NUEVAS TECNOLOGÍAS
APLICADAS A LA PREVENCIÓN Y EXTINCIÓN
DE INCENDIOS FORESTALES.
CASO DE ESTUDIO PARQUE NACIONAL DE
CABAÑEROS"**

Autor: Javier Delso Martínez

Directores:

D. Emilio Ortega Pérez

D. Rubén Laina Relaño

Madrid, Junio de 2014



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MONTES

**"Estudio de nuevas tecnologías aplicadas a la
prevención y extinción de incendios forestales:
Caso de estudio Parque Nacional de Cabañeros"**

Autor:

Javier Delso Martínez

Vº Bº del Director:

D. Emilio Ortega Pérez

Vº Bº del Director:

D. Rubén Laina Relano

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MONTES

Título del P.F.C.:

Autor: Javier Delso Martínez

Codirector: D. Emilio Ortega Pérez

Codirector: D. Rubén Laina Relano

Tribunal:

Presidente: _____

Vocal: _____

Secretario: _____

PRESIDENTE

VOCAL

SECRETARIO

Fdo:

Fdo:

Fdo:

Calificación: _____

Fecha: Madrid,

Observaciones:

Título del P.F.C.: “Estudio de nuevas tecnologías aplicadas a la prevención y extinción de incendios forestales: Caso de estudio Parque Nacional de Cabañeros”

Autor: Javier Delso Martínez

Codirector: D. Emilio Ortega Pérez

Codirector: D. Rubén Laina Relano

Resumen:

El uso de las nuevas tecnologías desarrolladas en los últimos años puede ser de gran utilidad para luchar frente a los incendios forestales tanto en el campo de la prevención, como en el de la extinción. En este trabajo se han estudiado las posibilidades de varias de estas nuevas tecnologías en el Parque Nacional de Cabañeros.

Se ha desarrollado una metodología para obtener mapas de modelos de combustibles de forma económica a partir de datos LiDAR. El mapa obtenido ha sido útil para crear un mapa de peligrosidad del medio y para llevar a cabo un análisis de accesibilidad.

Este análisis de accesibilidad incluye un análisis clásico cuyo resultado es un mapa de isocronas terrestres con el tiempo de llegada de los medios terrestres a cualquier punto del territorio. Este mapa es útil en el campo de la prevención y para optimizar los recursos contra incendios de un territorio. También se han estudiado las posibilidades de los análisis de vías, ya que estos no solo son útiles en la prevención si no que pueden ser utilizados en tiempo real en el ámbito de la extinción para obtener las rutas óptimas hasta un incendio.

Por último debido a los problemas encontrados durante las pruebas del análisis de vías, ya que con estos análisis no se obtiene el tiempo ocupado a través del terreno forestal, se ha combinado el análisis de vías con los métodos clásicos de manera que se pueda computar el tiempo total de llegada y la ruta optima hasta un incendio situado lejos de las pistas.

Índice

Índice de figuras:	8
Índice de mapas:	9
Índice de tablas:	9
1. Introducción	11
1.1 Objetivos	12
1.2. Antecedentes	13
1.3. Descripción del medio	16
1.3.1. Localización, límites y extensión.....	16
1.3.2. Geomorfología y geología	19
1.3.3. Clima y épocas de peligro.....	21
1.3.3.1. Clasificaciones climáticas	21
1.3.3.2. Situaciones meteorológicas	22
1.3.3.3. Época de peligro	23
1.3.4. Caracterización fitosociológica, flora y vegetación	24
1.3.4.1. Caracterización fitosociológica	24
1.3.4.2. Flora vascular	25
1.3.4.3 Vegetación	28
1.3.5. Uso público.....	33
1.3.6. Medios de extinción	34
1.3.6.1. Medios terrestres	34
1.3.6.1. Medios aéreos	37
1.3.6. Vías.....	37
2. Estado del arte.....	39
2.1 Mapa de peligrosidad del medio	39
2.1.1. Modelos de combustible.....	40
2.1.1.1 Cartografía de modelos de combustible.....	43
2.1.2. Integración de la información	45
2.2. Análisis de accesibilidad	46
3. Material y métodos.....	49
3.1. Mapa de peligrosidad del medio	49
3.1.1 Datos y programas utilizados	50
3.1.2 Mapa de combustibles	51

3.1.2.1 Extracción del MDT y de las variables forestales a partir de datos LiDAR.....	51
3.1.2.2 Integración de variables con el mapa de vegetación para crear la cartografía de combustibles	55
.....	60
3.1.2.3 Resultados y discusión del mapa de combustibles	62
3.1.3 Creación del mapa de peligrosidad del medio.....	65
3.1.3.1 Resultados y discusión mapa de peligrosidad del medio.....	69
3.2 Análisis de accesibilidad	70
3.2.1 Datos y programas utilizados	72
3.2.2 Mapa de isócronas	72
3.2.2.1 Resultados mapa de isócronas	75
3.2.3 Mapa de accesibilidad invertido y optimización de la posición de los retenes.....	76
3.2.3.1 Resultados mapa de isócronas invertido	80
3.2.4 Análisis de vías	81
3.2.4.1 Adecuación de la información.....	81
3.2.4.2 Creación del “dataset de red”	84
3.2.4.3 Análisis de redes combinado con la cartografía de isócronas.....	86
3.2.4.4 Resultados y discusión del análisis de redes	88
4. Conclusiones.....	97
Bibliografía	99
Anexo I. Herramientas y códigos FUSION	105
Anexo II. Contenido CD	114

Índice de figuras:

Figura 1: Situación Parque Nacional.....	18
Figura 2: N° de siniestros. (Fuente MAGRAMA).....	23
Figura 3: Superficie afectada. (Fuente MAGRAMA)	23
Figura 4: Posición medios terrestres. Fuente (OAPN).	36
Figura 5: Esquema de los modelos de combustible Prometheus.	42
Figura 6: Datos LiDAR visualizados con FUSION.	52
Figura 7: Imagen de referencia de Las Llanas.	53
Figura 8: Detalle del mapa de fricción, donde se observan las vías forestales. ..	74
Figura 9: Captura de los atributos de coste incluidos.	85
Figura 10: Reten.	88
Figura 11: Incendio.	88
Figura 12: Rutas optimas desde los tres retenes hasta el incendio.	89
Figura 13: Barrera situada en la ruta del retén de Los porches y la ruta alternativa.....	89
Figura 14: Ruta de acceso desde reten más cercano.....	90
Figura 15: Ruta sobre el mapa de isócronas.	91
Figura 16: Ruta calculada con el mapa de fricción sobre ortofoto.	91
Figura 17: Ruta por el terreno hasta punto vía señalado en el análisis de vías...	91
Figura 18: Ruta sobre el mapa de isócronas.	91
Figura 19: Rutas optimas de acceso a través del terreno forestal a la zona de riesgo.	92
Figura 20: Detalle.....	93
Figura 21: Ruta retén de Los Porches.	93
Figura 22: Ruta retén de Labradillo.....	93
Figura 23: Detalle.....	93
Figura 24: Ruta desde el retén de Las Llanas.	94
Figura 25: Detalle.	94
Figura 26: Rutas optimas de acceso a través del terreno forestal a la zona de riesgo.	95
Figura 27: Rutas optimas desde los tres retenes.	95
Figura 28: Detalle de la ruta optima compartida a través del terreno forestal...	95
Figura 29: Detalle de la ruta optima desde el retén de Navalgallo.....	96
Figura 30: Nueva ruta.	96
Figura 31 : Visualización de datos LiDAR del pinar.	111
Figura 32: MDT creado con FUSION.	111
Figura 33: Visualización de datos LiDAR de la raña.	112
Figura 34: Detalle desde otro ángulo.....	112

Figura 35: Visualización de datos LiDAR sierra.	113
Figura 36: Pista forestal desde otro ángulo.	113
Figura 37: Pista forestal.	113

Índice de mapas:

Mapa 1: Zona de estudio	18
Mapa 2: Mapa de pendientes	20
Mapa 3: Mapa de modelos de combustible.	60
Mapa 4: Mapa de modelos de combustible obtenido a partir de imágenes de satélite. Fuente (Riaño, et al., 2001)	64
Mapa 5: Mapa de peligrosidad del medio.	68
Mapa 6: Mapa de isócronas.	75
Mapa 7: Posición óptima para un único reten.	77
Mapa 8: Zonas de riesgo asignadas a las cuatro conjuntos y sus centroides.	79

Índice de tablas:

Tabla 1: Familias más representadas	27
Tabla 2: Medios terrestres.	36
Tabla 3: Descripción de los modelos de combustible de Rothermel.	41
Tabla 4: Descripción de los modelos de combustible Prometheus.	42
Tabla 5 : Velocidad de desplazamiento y penetrabilidad en función de los modelos de combustible presentes. Fuente (Govern De Les Illes Balears, 2001).	46
Tabla 6: Hojas LiDAR utilizadas.	51
Tabla 7: Características de los raster resultantes.	55
Tabla 8: Modelos de combustible 5, 6, 7.	55
Tabla 9: Descripción de la capa de vegetación de Cabañeros	57
Tabla 10: Reclasificación de la capa de altura de la vegetación.	58
Tabla 11: Reclasificación capa de FCC.	58
Tabla 12: Reclasificación de la pendiente.	59
Tabla 13: Ejemplo de asignación.	59
Tabla 14: Reclasificación a los modelos de combustibles de Rothermel.	66
Tabla 15. Coeficiente de riesgo de cada modelo de combustible.	66
Tabla 16: Asignación de un coeficiente de riesgo a cada clase de pendiente.	67
Tabla 17: Índice de peligrosidad del medio.	68

Tabla 18: Velocidad de desplazamiento y penetrabilidad en función de los modelos de combustible presentes, siendo D (Desplazamiento) y P (Penetrabilidad) Fuente (Govern De Les Illes Balears, 2001)	73
Tabla 19: Asignación de tiempos.....	73
Tabla 20: Clases del mapa de isócronas.	75
Tabla 21: Tiempos totales de llegada desde cada conjunto de retenes a las zonas de riesgo marcadas.	78
Tabla 22: Tiempos totales de llegada desde las dos zonas problemáticas hasta los retenes de cada conjunto.	80
Tabla 23: Velocidades de circulación.....	82
Tabla 24: Reglas topológicas incluidas (Fuente ESRI)	83
Tabla 25: Errores	84

1. Introducción

Los incendios forestales están muy ligados a los ecosistemas mediterráneos, han contribuido a configurar su estructura y el paisaje asociado. Sin embargo durante los últimos siglos y especialmente durante el siglo XX esta convivencia se ha visto truncada debido principalmente a causas antrópicas, reduciendo el periodo de recurrencia de los incendios a ciclos de 6-10 años, cuando debería situarse en torno a los 50-100 años.

La amenaza que estos incendios han comenzado a ser para las personas y bienes, debido al crecimiento de la interfaz urbano-forestal, justifica que se destinen recursos económicos por parte de las administraciones para tratar de combatir los incendios forestales.

Para que los técnicos encargados de la gestión de incendios forestales puedan contar con información actualizada de la situación de los montes, se han de tener en cuenta las nuevas tecnologías existentes.

El uso de estas nuevas tecnologías desarrolladas durante los últimos años puede proporcionar información muy valiosa para la gestión, antes muy costosa y difícil de obtener, de manera rápida y con apenas gasto de los recursos económicos con los que cuentan actualmente los gestores.

Además de proporcionar información acerca de la vegetación y de la meteorología, el uso de dichas nuevas tecnologías puede ser útil para optimizar los recursos existentes tanto de extinción como de prevención.

En el presente punto se va realizar una presentación del estudio a desarrollar y sus objetivos. Además se va a caracterizar la zona de estudio haciendo hincapié en los puntos más críticos para los incendios forestales.

1.1 Objetivos

En este proyecto se trata de, cogiendo el testigo de anteriores estudios, desarrollar nuevas metodologías que permitan caracterizar la vegetación existente y optimizar las actuaciones de los medios de prevención, vigilancia y extinción de incendios forestales.

Los objetivos de este proyecto de fin de carrera son los siguientes:

1. El primer objetivo es obtener un mapa de peligrosidad del medio que más tarde pueda ser utilizado en el análisis de accesibilidad.

Para la realización de este mapa se necesita una cartografía de modelos de combustible de la zona de estudio, es por ello que se tratara de desarrollar una metodología para realizarla a partir de teledetección de manera sencilla, y fácilmente actualizable. Se tratara en la medida de lo posible que la metodología desarrollada sea extrapolable a otros territorios.

2. El segundo objetivo es realizar un análisis de accesibilidad que nos permita obtener el tiempo de llegada a cualquier punto del territorio, con vistas a una posible optimización de las bases contra incendios, rutas de vigilancia o incluso obtención de las mejores rutas hasta el incendio en tiempo real.

Este tiempo de llegada se obtendrá mediante métodos clásicos como es la cartografía de isócronas y mediante un análisis de vías que permite obtener las rutas óptimas de acceso a un incendio y el tiempo de respuesta hasta el punto de la vía más cercana. Para poder realizar el análisis de vías habrá que previamente crear las estructuras de datos necesarias.

Por último dentro de este objetivo se incluye el tratar de combinar ambos métodos de manera que se complementen, solucionando los problemas que ambos presentan.

1.2. Antecedentes

La gestión de la lucha contra incendios está enmarcada dentro de la política forestal, cuyas competencias en materia de legislación, administración y gestión de espacios forestales recae en su gran mayoría en las comunidades autónomas, siendo la administración general del estado la encargada de fijar un marco básico legislativo con la ley de montes (Ley 43/2003, 21 de noviembre) y unos objetivos generales para el conjunto del estado.

Más concretamente dentro de la gestión de los incendios forestales la mayoría de competencias han sido transferidas a lo largo de los años a las comunidades autónomas, siendo las responsables principales de las tareas de prevención y extinción de incendios. El estado central se encarga de las labores de refuerzo de medios durante las épocas de peligro, de la cooperación internacional en materia de incendios forestales (Acuerdos Bilaterales de Cooperación suscritos con Francia, Portugal y Marruecos) y del mantenimiento de una base de datos de incendios.

La comunidad autónoma de Castilla- La Mancha no es una excepción ya que ha desarrollado un marco normativo propio con la ley de montes y gestión forestal sostenible (Ley 3/2008, de 12 de junio) que junto con la ley de protección civil (Ley 2/1985, de 21 de enero) y el Plan Territorial de Emergencia de Castilla- La Mancha (Decreto 191/2005, de 27 de diciembre) sirven de soporte legal al plan de emergencias por incendios forestales de Castilla- La Mancha (DG Protección Ciudadana, 2010) que indica la estructura organizativa y los procedimientos para la coordinación y movilización de los medios frente a la emergencia por incendio forestal en todo el territorio.

También existe un "Plan Director de Protección y Defensa Contra Incendios Forestales" publicado en la página Web de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, en borrador, ya que en la actualidad se encuentra en fase de consultas por el procedimiento de Evaluación Ambiental de Planes. Este Plan tiene por objeto marcar directrices y orientaciones, especialmente en materia de infraestructura de defensa pasiva, que ayuden a la elaboración seguidamente de los Planes de Defensa Contra incendios forestales, de ámbito comarcal, que se están redactando para cada una de las ZAR (Zonas de Alto Riesgo para incendios forestales), tal y como se indica en el artículo 62.2 de la Ley de Montes

de Castilla La Mancha. (D.G. de Montes y Espacios naturales, 18 febrero de 2014)

La gestión de los incendios forestales en Castilla-La Mancha corresponde a la Consejería de Agricultura y dentro de esta a la Dirección General de Montes y Espacios Naturales (Decreto 126/2011, de 7 de junio).

El territorio que nos ocupa, Cabañeros, fue declarado Parque Natural, dada la gran riqueza ambiental que alberga, el 11 de Julio de 1988 por el consejo de Gobierno de Castilla-La Mancha (Jiménez García-Herrera, et al., 2011) tras la gran presión social, popular y política levantada cuando el Ministerio de Defensa propuso la instalación de un campo de tiro en la zona. Más tarde en 1993 el Consejo de Gobierno de Junta de Comunidades de Castilla la Mancha solicitó la creación de Parque Nacional y dada la representatividad de los sistemas asociados al monte mediterráneo y su buen estado de conservación fue declarado Parque Nacional el 20 de noviembre de 1995 (Ley 33/1995, de 20 de noviembre) ampliando en 15000 hectáreas las 25000 con las que ya contaba el Parque Natural. Posteriormente el 15 de noviembre de 2005 se ampliaron los límites del parque por incorporación de terrenos colindantes pertenecientes al Ayuntamiento de Navalucillos (OAPN Resolución de 15 de noviembre de 2005) quedando su superficie actual en 40.855,98 hectáreas.

El parque se encuentra dentro de la región mediterránea. Representa en la Red a los ecosistemas ligados al monte mediterráneo.

Dentro del parque están representados cuatro sistemas naturales contemplados dentro de la Ley de Parques Nacionales (Ley 5/2007, de 3 de abril). El más representado es el de “Formas de relieve y elementos geológicos singulares del macizo ibérico y las cordilleras alpinas” seguido del de “encinares, carrascales, alcornocales y acebuchales”

En Cabañeros están presentes 16 Hábitats de Interés Comunitario, 3 de ellos de Interés Prioritario. Los predominantes son los “Bosques de *Quercus ilex* L. y *Quercus rotundifolia* Lam.” y los “brezales secos europeos”.

En cuanto a la fauna, según el catálogo de especies amenazadas (Real Decreto 139/2011, de 4 de febrero) el parque alberga cuatro especies de fauna en peligro de extinción y ocho especies de fauna vulnerables.

No cuenta con una zona periférica de protección como otros parques nacionales y su área económica de influencia abarca 182.400 ha en la que se incluyen quince municipios. También es ZEPA desde 2005 y LIC desde el año 2006 (Decisión de la Comisión 3261, de 19 de julio 2006) (OAPN, 2010)

La gestión de Cabañeros es peculiar dentro de la Red de Parques Nacionales ya que junto con Las Tablas de Daimiel son los únicos cuya gestión a fecha de hoy, aún no está transferida la comunidad autónoma, ni hay previsiones de que se vaya a hacer en una fecha concreta (Fernandez, 24 febrero de 2014). El órgano gestor para ambos es la Comisión Mixta de Gestión de los Parques Nacionales de Castilla-La Mancha en la que están presentes con igual número de participantes la comunidad autónoma y el Ministerio, alternándose la presidencia de dicho órgano.

También existe un patronato como órgano de participación y apoyo a la gestión integrado por las administraciones (estatal, autonómica y locales) además de representantes de asociaciones e instituciones con intereses relacionados con el Parque Nacional (OAPN, 2010).

Cabañeros está sujeto al cumplimiento del Plan Director de Parques Nacionales que define unas directrices básicas generales que aseguran la coherencia de la red (Ley 5/2007, de 3 de abril).

Durante la realización de este proyecto de fin de carrera se está terminando la redacción del Plan Rector de Uso y Gestión (PRUG) de Cabañeros, corrigiendo el borrador previo, revisando y completando los anexos para poder coordinarlo con tiempo suficiente con la aprobación del Plan de Gestión de los Espacios Red Natura que se solapan con el parque ya que se termina el plazo a finales de año (Fernandez, 24 febrero de 2014).

La titularidad del suelo es publica en un 55% siendo 2295 ha montes de utilidad pública pertenecientes a los municipios de la zona y el resto hasta ese 55% fincas propiedad de OAPN (OAPN, 2010). A diferencia de la mayoría de Parques Nacionales de la red (a excepción de la Caldera de Taburiente y de Monfragüe) casi la mitad de Cabañeros son fincas privadas lo que en muchos casos condiciona la gestión, por ello es por lo que el presente trabajo se centra en la parte pública perteneciente al OAPN.

El caso que nos ocupa de los incendios forestales dentro del Parque Nacional es complejo ya que se tienen que coordinar medios de prevención y extinción de tres administraciones diferentes, de la comunidad autónoma, del estado (BRIF) y por último los medios propios del parque nacional que más adelante se detallan.

Además de las partidas anuales del Servicio de Prevención y Extinción de Incendios del OAPN, durante el año 2008 se ejecutaron dos grandes actuaciones enmarcadas dentro del Plan E, la adecuación de la red de cortafuegos del Parque Nacional y diversos tratamientos preventivos contra incendios, además de la propuesta bianual para la contratación de un servicio de maquinaria pesada contra incendios forestales.

1.3. Descripción del medio

A continuación se procede a caracterizar los aspectos más importantes del Parque Nacional y con especial atención aquellos que influyen en la problemática de los incendios forestales en el caso de Cabañeros.

Durante los siguientes dos subapartados se sitúa el parque dentro de los Montes de Toledo y se describe su geomorfología muy asociada a dichos montes. Más adelante se describe el clima que es el factor principal que determina la vegetación y también las épocas de peligro de incendios en la zona del Parque Nacional.

Finalmente se describen tanto los medios de extinción que en un posible incendio están llamados a intervenir como las vías forestales que estos usarían y que más tarde en el presente trabajo se utilizaran para realizar el análisis de vías.

1.3.1. Localización, límites y extensión

El Parque Nacional de Cabañeros se encuentra entre las provincias de Toledo y Ciudad Real, situado en el cuadrante Noroccidental de esta última. Abarca la sierra del Chorrito y de Miraflores, encuadradas en el sistema orográfico de los Montes de Toledo.

Este trabajo se centra únicamente en los terrenos propiedad del OAPN por los motivos citados anteriormente y estos se encuentran íntegramente en la provincia de Ciudad Real.

Su superficie se enmarca dentro de los términos municipales de Alcoba de los Montes, Retuerta de Bullaque, Horcajo de los Montes y Navalucillos, mientras que su área de influencia socioeconómica está integrada por un total de quince pueblos (OAPN, 2010).

Sus coordenadas geográficas son:

39° 24'--39° 17'de latitud Norte.

4° 38' -- 4° 16' de longitud Oeste.

Con respecto al sistema de coordenadas UTM utilizado a lo largo del presente trabajo se encuentra en la zona 30s en el cuadrado de 100km de lado UJ.

Las hojas del mapa 1:50000 del IGN que albergan la superficie del parque son la 709 (Anchuras), 710 (Retuerta del Bullaque), 734 (Villarta de los Montes) y 735 (El Robledo).

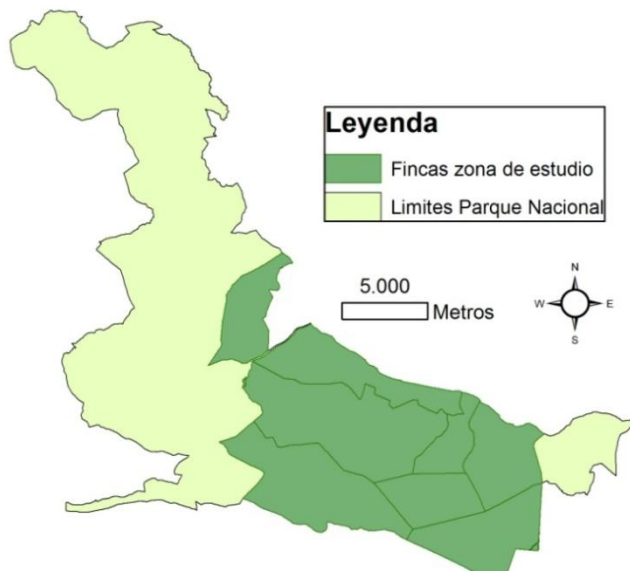
Los límites del parque nacional a grandes rasgos son:

- Al Oeste su límite lo dan las fincas de El Avellanar, Candilejos, Garbanzuelo y El Chorro.
- Al Norte queda limitado por los cortafuegos que atraviesan la línea de cumbres de la sierra del Chorrillo discurriendo por el pinar de Las Llanas.
- Al Este su linde queda cerca del Río Bullaque y la carretera que une pueblo Nuevo del Bullaque con Santa Quiteria.
- Al Sur el término del parque está en La Llanada de la Escoba y las cumbres de las cuerdas de las sierras de Arroba, Celada y de Miraflores.

La zona de estudio queda limitada al oeste por la carretera que une Retuerta Del Bullaque y Horcajo de los Montes.

El parque nacional de Cabañeros se extiende sobre una superficie total de 40855,98 hectáreas mientras que la zona a la que se refiere el presente trabajo

ocupa un total de 16018,1 ha, integradas por las fincas propiedad del OAPN cuya extensión aparece en el Mapa 1: Zona de estudio.



Mapa 1: Zona de estudio

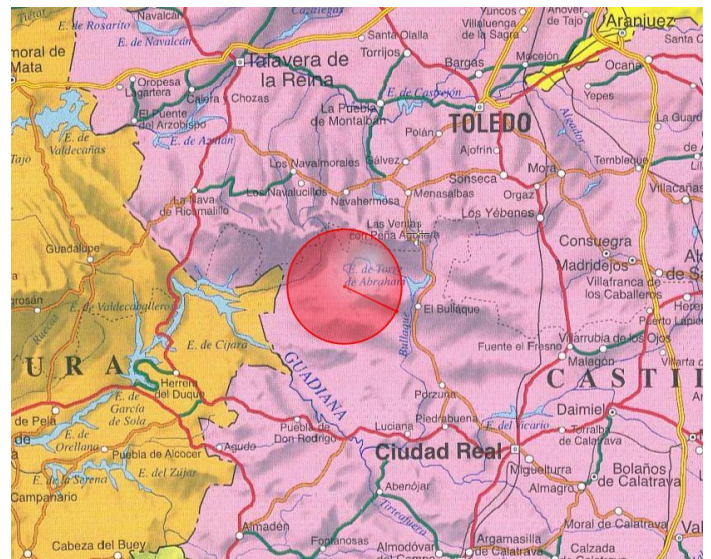


Figura 1: Situación Parque Nacional

La superficie que aporta cada municipio al Parque Nacional es la que se detalla a continuación:

- Los Navalucillos: 2633,498 ha.
- Hontanar: 2964,160 ha.
- Navas de Estena: 9789,685 ha.
- Retuerta: 3743,715 ha.
- Horcajo: 6177,527 ha.
- Alcoba: 15523,579 ha.

La superficie que aporta cada provincia es:

-Provincia de Toledo: 5597,658 ha.

-Provincia de Ciudad Real: 35234,506 ha.

1.3.2. Geomorfología y geología

Cabañeros se ubica dentro del sistema orográfico de los Montes de Toledo, que posee las formaciones montañosas más antiguas de la Península Ibérica. Precisamente su desgastado relieve por la acción de la erosión es el que crea su peculiar paisaje.

Los montes de Toledo deben su nombre a su pertenencia hasta el siglo XIX a la ciudad de Toledo pese a que ahora se encuentren entre las provincias de Ciudad Real y Toledo.

Desde el punto de vista geológico, el territorio del parque se sitúa en la llamada Zona Centro Ibérica del Macizo Hespérico constituido por terrenos antiguos paleozoicos y precámbricos deformados, metamorfizados e intruídos por rocas graníticas (Gutiérrez-Marco, y otros, 2011).

El sustrato geológico del parque comprende a grandes rasgos dos grandes conjuntos, por un lado un basamento antiguo muy deformado que se compone de rocas detríticas formadas en un ambiente marino o litoral y por otro una cobertura subhorizontal reciente, de origen continental.

Se citan estos dos grandes conjuntos ya que son de gran importancia para comprender tanto el relieve como el paisaje más característico del parque constituido por las rañas.

Las áreas montañosas están formadas por materiales paleozoicos en grandes pliegues erguidos, de plano axial subvertical o ligeramente volcados hacia el suroeste, que forman alineaciones sucesivas de sierras con orientación general Noroeste-Sureste.

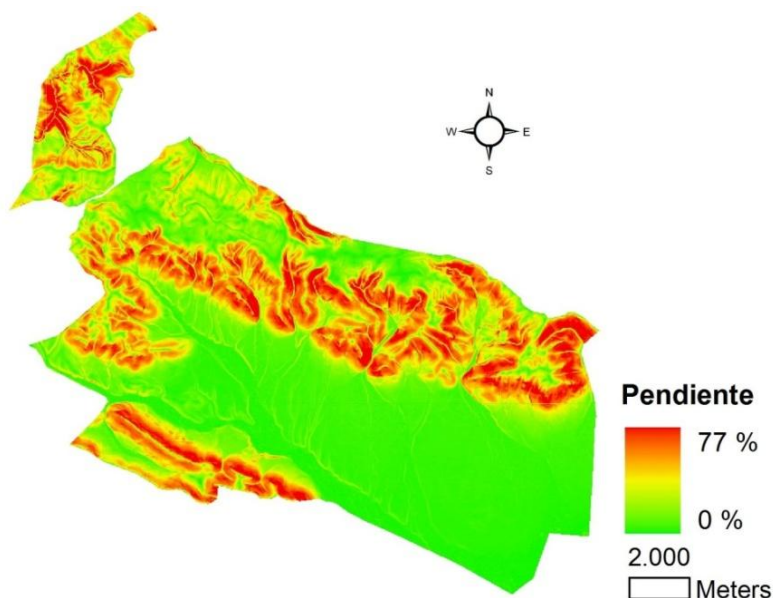
La cobertura más reciente que fue colmatando los valles por la erosión es la que configura las rañas que constituyen los valles más características del sector suroccidental.

Las unidades geomorfológicas que se podrían diferenciar son (Garcia, 1997):

- Macizo del Rocigalgo.
- Depresión anticlinal de Anchuras-Horcajo de los Montes.
- Cuenca sinclinal del Alto Bullaque.
- Macizo del Chorito.
- Sierras de Valdefuertes-Miraflores.
- Cuenca sinclinal de Alcoba-Porzuna.

La altitud máxima del parque se encuentra en 1448 m.s.m en el Macizo de Rocigalgo, y la cota mínima se sitúa en los 620 m.s.m.

En el parque existen zonas llanas situadas en las depresiones entre sierras en las que se sitúan las rañas, y zonas de grandes pendientes además de una zona con poco relieve situada en la línea de cumbres del Macizo del Chorito en el llamado “Pinar de Las Llanas”. El estudio de las zonas de mayores pendientes tiene gran importancia para el mapa de riesgos que se presentara más adelante. Mapa 2:



Mapa de pendientes.

Desde el punto de vista hidrográfico, Cabañeros se enmarca en el límite de las cuencas hidrográficas del Tajo y del Guadiana marcada por la línea de cumbres del Norte del parque aunque principalmente dentro de la cuenca del río

Guadiana en las subcuencas de dos de sus afluentes por su margen derecha el Bullaque y el Estena. El primero circula sobre la raña sin apenas incidirla y sin generar un valle estable, mientras que el segundo aparece fuertemente encajonado en un surco intramontañoso que aumenta si cabe el complejo relieve del parque.

Dentro de la cuenca hidrográfica del Tajo únicamente se encuentra la finca de Navalucillos de reciente incorporación.

1.3.3. Clima y épocas de peligro

El clima es uno de los factores más determinantes en la composición vegetal de nuestros montes, regula la especie presente y las condiciones ambientales como son el régimen hídrico y la temperatura, por tanto la cantidad de materia vegetal que puede existir (Planelles González, 2009).

1.3.3.1. Clasificaciones climáticas

A continuación se procede a caracterizar el clima de nuestra área de estudio por las dos clasificaciones climáticas con base fitográfica usadas en España, la clasificación bioclimática de Rivas Martínez (1981/1987) y la clasificación en subregiones fitoclimáticas de Allué-Andrade (1990).

Clasificación de Allué Andrade:

El sistema fitoclimático desarrollado por Allué Andrade en el año 1990 intenta establecer una correspondencia entre clima y vegetación. Los siguientes datos están tomados del mapa de Subregiones fito climáticas de España Peninsular y Balear (Allué Andrade, 1990).

Según dicho mapa en Cabañeros están presentes dos tipos fitoclimáticos, el mediterráneo y el nemoral.

Dentro del tipo mediterráneo existen dos subregiones fitoclimáticas reconocidas en Cabañeros:

- IV₄: Define un clima mediterráneo genuino, seco y de inviernos cálidos. Se encuentra representado en la mitad Sur del parque. A esta subregión

le corresponde un grado fisionómico de esclerófilos ilicinos (encinar y alcornocal).

- IV (IV)₁: Esta subregión presenta un clima mediterráneo subhúmedo y se le atribuye un grado fisionómico de esclerófilos ilicinos (encinares y planocaducifolios marcescentes). Abarca la zona Norte del Parque Nacional.

Dentro del tipo nemoral solo encontramos una subregión fitoclimática:

- VI (IV)₂: Clima subhúmedo de tendencia centroeuropea.

Clasificación de Rivas Martínez

La región bioclimática a la que pertenece la zona de nuestro estudio, en función de los índices de mediterraneidad y el ámbito biogeográfico, es la región mediterránea (Rivas Martínez, 1987).

Mientras que los pisos bioclimáticos son el piso meso mediterráneo y el piso supramediterráneo (restringido en el parque a zonas serranas y barrancos) con unas superficies de 36000 y de 3000 hectáreas aproximadamente.

1.3.3.2. Situaciones meteorológicas

En la zona de Cabañeros se pueden distinguir fundamentalmente tres tipos de fenómenos atmosféricos habituales:

- Situación anticiclónica invernal en los meses de diciembre enero.
- Situación del Oeste con fuertes vientos de componente Oeste y abundantes precipitaciones.
- Buen tiempo estival: Se da en los meses de junio, julio y agosto y parte de los meses de mayo y septiembre. Se trata de un tiempo poco nuboso, aunque con posibilidad de calimas. Las temperaturas son muy altas sin variaciones importantes en el gradiente. Los vientos son siempre de componente Este aunque bastante lentos. Es importante resaltar que la falta de

precipitaciones durante esta época junto con una elevada evapotranspiración da lugar a una elevada aridez.

1.3.3.3. *Época de peligro*

Se carece de datos suficientes de incendios en Cabañeros y zonas limítrofes como para caracterizar de forma efectiva la época de peligro en la zona. Es por ello que la época de peligro definida en este apartado se toma del Informe De Incendios Forestales del MAGRAMA (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente) del decenio 2001-2010 (Cubo María, y otros, 2012). Se toman los datos definidos para las comunidades interiores.

Los meses con un mayor número de siniestros (conatos e incendios forestales) son de junio a septiembre, con un número significativamente mayor en julio y agosto. También se observa un pico aislado en marzo (Figura 2: N° de siniestros).

En cuanto a la superficie afectada se ve más claramente que los meses más conflictivos, en cuanto a incendios forestales se refiere, en las comunidades interiores son julio y agosto (Figura 3: Superficie afectada).

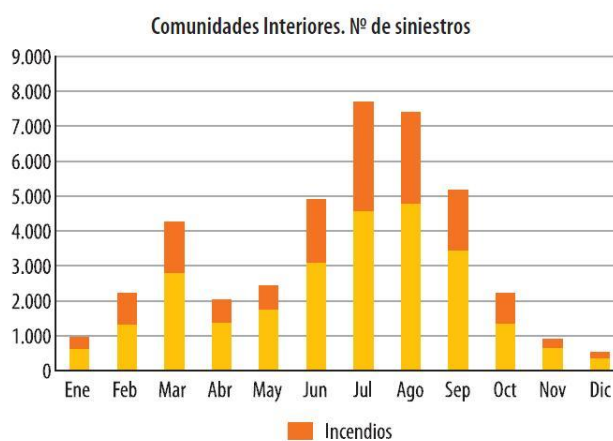


Figura 2: N° de siniestros. (Fuente MAGRAMA)

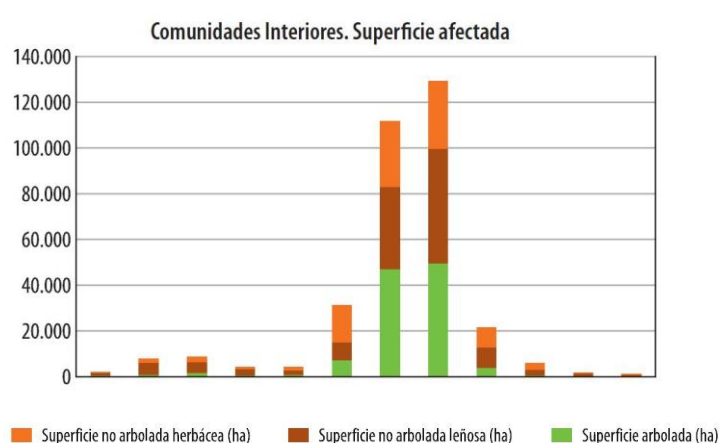


Figura 3: Superficie afectada. (Fuente MAGRAMA)

Más concretamente el plan de emergencias de incendios forestales de Castilla-la Mancha (DG Protección Ciudadana, 2010) establece tres intervalos para toda la comunidad.

- Época de peligro alto: Del 1 de junio al 30 de septiembre

- Época de peligro medio: Del 1 al 31 de mayo y del 1 al 31 de octubre. También el periodo de Semana Santa.
- Época de peligro bajo: Del 1 de enero al 31 de abril y del 1 de noviembre al 31 de diciembre a excepción de Semana Santa.

Estas épocas de peligro pueden ser modificadas por la persona titular de la dirección general competente en materia de incendios forestales, cuando las circunstancias meteorológicas lo aconsejen.

Actualmente se publica diariamente el Índice Meteorológico de Incendios Forestales (Fire Forest Weather Index) basado en factores meteorológicos. El sistema tiene en cuenta la humedad de los combustibles muertos presentes en el suelo y el subsuelo y está calibrado a partir de los registros históricos de superficie árida y número de incendios. El índice está estratificado en cinco clases de bajo a extremo para facilitar su integración con factores estructurales.

1.3.4. Caracterización fitosociológica, flora y vegetación

En este punto se va a hacer una descripción un poco más detallada por la importancia del conocimiento de la vegetación para la prevención y la extinción de incendios. El tipo de vegetación existente determina de manera fundamental los modelos de combustible y por lo tanto la cartografía de peligrosidad del medio que más tarde se presenta, es por ello que este punto se encuentra más desarrollado (Valencia Sanchez, 2000).

1.3.4.1. Caracterización fitosociológica

Según el mapa de series de vegetación de España (Rivas Martínez, 1987) dentro del Parque Nacional de Cabañeros podemos encontrar las siguientes series:

- Serie mesomediterránea de los alcornoques: Serie mesomediterránea luso-extremadura y bética subhúmeda-húmeda silicícola del alcornoque (*Quercus suber*). *Sanguisorbo agrimonoides-Querceto suberis* S. (23c).

Las series mesomediterráneas del alcornoque corresponden en su etapa madura a bosques planifolios esclerófilos. Existen dos grupos de series del alcornocal en la Península, la zona de Cabañeros corresponde a las series subordinadas a la macroserie *Quercio faginae sigmion* cuyo carácter más común es el papel preponderante que juegan alguno arbustos de hoja lustrosa como el *Arbutus unedo* o el *Viburnum tinus*. También es importante la presencia de brezos y helechos.

Es importante destacar que las etapas más degradadas del ecosistema vegetal corresponden con brezales/jarales calcífugos en los que la materia orgánica se descompone con dificultad, se acidifica y tiende a lixiviar los suelos.

- Serie mesomediterránea de los encinares: Serie mesomediterránea luso-extremaduraense seco-subhúmeda silicícola de la encina (*Quercus rotundifolia*). *Pyro bourgaeanae-Quercus rotundifoliae sigmetum*.

Las series mesomediterráneas de la encina corresponden en su etapa madura a un bosque denso de encinas que en ocasiones puede albergar otros árboles (enebros, quejigos y alcornoques). Estas series poseen en general un sotobosque en general no muy denso.

Más concretamente la serie que nos ocupa tiene como etapa madura un bosque esclerófilo en el que con frecuencia existe el piruétano. Estos terrenos han sido usados tradicionalmente como pastos para el ganado, es por ello que los bosques primitivos han sido sustituidos por bosques adehesados.

1.3.4.2. Flora vascular

El catálogo de plantas vasculares del antiguo parque natural de Cabañeros incluía 736 taxones de especies, subespecies y variedades. Esta cifra pese a ser menor que otras zonas de la península con mayor riqueza florística como puede ser Sierra Nevada, sí que conviene tenerla en cuenta dadas las características del

Parque Nacional, poca diferencia altitudinal y terrenos mayoritariamente silíceos.

Dentro de este apartado se van a describir la representación en Cabañeros de los cuatro grandes grupos sistemáticos y por otra parte los tipos biológicos, haciendo hincapié en las peculiaridades y tipos importantes para el estudio de los incendios forestales.

Grupos sistemáticos:

1. Pteridofitos: Dentro del parque se pueden encontrar 16 taxones de los denominados comúnmente helechos. Se dividen en dos grupos, los conocidos como “isoetes” (*licopsidos*) entre los que se encuentran el *Isoetes setaceum* y el *Isoetes Histrix* en zonas húmedas como lagunas y arroyos.

El otro grupo encontrado en cabañeros es el de los *Filicopsidos*. Ejemplares de *Osmunda regalis* o *Athyrium filis-foemina* se pueden encontrar en los márgenes de algunos cauces sin ser muy abundantes. El helecho más representado en Cabañeros es el denominado helecho común (*Pteridium aquilinum*) capaz de adaptarse a medios muy variados.

2. Gimnospermas: La única conífera autóctona del parque es el *Juniperus oxycedrus*. Es poco abundante encontrándose en hábitats rupícolas como algunos crestones rocosos.

El resto de especies proceden de introducciones recientes. Las especies más usadas en las plantaciones han sido el *Pinus pinaster* y el *Pinus pinea*, habiendo sido usadas también como arboles ornamentales especies como el *Pinus halepensis* y *Cupressus sempervirens*. Aun así estas especies introducidas representan un bajo porcentaje en el conjunto de la flora vascular del parque.

3. Monocotiledóneas: Entre las monocotiledóneas de Cabañeros cabe destacar las plantas herbáceas de aspecto acintado. Sus trece familias representadas engloban un total de 166 taxones siendo la familia *gramineae* la mejor representada.

4. Dicotiledóneas: Es el grupo de las dicotiledóneas donde se encuentran la mayor diversidad de formas desde plantas de ciclo anual a plantas de tipo arbóreo. Este grupo presenta 549 taxones con la mayor representación por parte de la familia *Compositae*.

A continuación se presenta una tabla con las familias más representadas de Angiospermas (Dicotiledóneas y Monocotiledóneas) (Tabla 1).

Tabla 1: Familias más representadas

Familias	Nº de géneros
<i>Compositae</i>	52
<i>Graminae</i>	41
<i>Leguminosae</i>	42
<i>Caryophyllaceae</i>	18
<i>Liliaceae</i>	15
<i>Scrophulariaceae</i>	13
<i>Labiatae</i>	17
<i>Umbeliferae</i>	19
<i>Rosaceae</i>	14
<i>Cruciferae</i>	20
<i>Cyperaceae</i>	5

Tipos biológicos:

Las plantas de tipo anual o terófitos, representan el tipo biológico más numeroso del parque. Se encuentra principalmente en las zonas adehesadas (rañas) y en otros medios abiertos.

Otro tipo biológico muy representado es el de los hemicriptófitos dominante en zonas de mayor humedad y con menores temperaturas, es decir en zonas latitudinal y altitudinalmente elevadas. Su alta presencia en el territorio de Cabañeros de escasa altitud y bastante meridional se debe a la gran presencia de hábitats húmedos como arroyos, trampales y vallicares.

Los fanerófitos presentan un porcentaje similar que en otras zonas mediterráneas y constituyen las formaciones vegetales características de las áreas montañosas del parque.

1.3.4.3 Vegetación

Dada la homogeneidad de la litología de Cabañeros las causas no antrópicas más influyentes en la distribución de los diferentes tipos de agregaciones vegetales son las variaciones térmicas y los cambios de humedad. Los gradientes originados por la variación de estos dos parámetros influyen en el predominio de una u otra especie.

Las diferencias de altitud en las sierras de Cabañeros propician la aparición de dos tendencias fitoclimáticas que se manifiestan en una frontera variable en función de la orientación, pero teóricamente alrededor de los 1100 m.s.m. Esta frontera diferencia un territorio por debajo de características mesomediterráneas y por encima de carácter supramediterráneo de ombroclima más húmedo.

También la orientación de las laderas modifican los gradientes ombrotérmicos. Mientras que en las umbrías las especies dominantes están mejor adaptadas a ambientes algo frescos y húmedos, en las laderas con exposiciones más soleadas dominan los taxones termoxerófilos.

Aparte de lo anteriormente expuesto, la continua actividad antropozógena sobre el medio en épocas relativamente cercanas ha contribuido decisivamente a modelar el paisaje vegetal de Cabañeros y su entorno.

Desde tiempos del neolítico las diferentes culturas establecidas en el entorno de Cabañeros han marcado el destino de la fauna y cubierta vegetal. Pero el hecho que ha marcado más profundamente su estado actual es la venta por parte de Don Fernando III al concejo vecino de Toledo de la finca, denominada a partir de ese momento Comarca de los Montes de Toledo.

La necesidad de tierras de cultivo, el consumo de madera para la construcción y principalmente el pastoreo son los causantes de una reducción importante de los montes a partir del siglo XIII en la Península. Si bien los bosques de quercíneas que cubrían la comarca no comenzaron a ser explotados hasta el siglo XV aunque en los siglos XVII y XVIII la presión sobre el territorio comenzó a ser progresivamente más importante, en parte por el carboneo, se mantuvieron relativamente intactos.

Las transformaciones durante estos siglos fueron de gran importancia, pero fue durante los siglos XIX y primera mitad del XX cuando se produjeron los cambios más profundos que determinaron la actual configuración del paisaje vegetal. Estas transformaciones se debieron principalmente a las desamortizaciones que supusieron la venta de gran parte de los montes públicos.

Como consecuencia de estas desamortizaciones y la catalogación de unos u otros montes en los términos municipales del parque, estos fueron tomando distintas direcciones. Buena parte de las tierras fueron taladas y roturadas para poder cultivar los terrenos.

Incluso durante la primera mitad del siglo XX se siguió conformando el actual paisaje de Cabañeros, por la reactivación del carboneo y de la ganadería, así como las roturaciones para cultivos. Como ejemplo destacar las más de 6000 ha que se desmontaron en las zonas montañosas y en las Rañas de Cabañeros con fines agrícolas y ganaderos.

El abandono de estas actividades tradicionales de explotación ha propiciado una rápida recuperación de la cubierta vegetal, si bien la elevada presión de ciertas especies cinegéticas está frenando este avance.

Vegetación actual:

A continuación se van a presentar muy resumidamente las principales formaciones vegetales presentes en Cabañeros, de gran importancia para entender posteriormente en este proyecto la caracterización de los modelos de combustible en nuestra zona de estudio.

1. Formaciones arbóreas:

Una característica importante de Cabañeros es su situación en un área transicional para las especies del genero *Quercus*. Esto provoca que gran parte de los bosques se presenten como masas arbóreas mixtas de alcornoque, quejigo y encina.

Únicamente en zonas con registros climáticos más extremos para alguna de ellas, como puede ser las zonas altas del piso supramediterráneo húmedas donde la especie predominante será el roble, o en zonas basales

más xéricas donde la encina será la especie predominante formando masas monoespecíficas. El alcornoque tiende a ser dominante en las localizaciones térmicas y subhúmedas del piso mesomediterráneo.

El carácter monoespecífico de algunas de estas formaciones también puede deberse a la acción simplificadora del hombre que puede haber producido una reducción del cortejo florístico de ciertas zonas.

En las laderas orientadas al norte es donde mejor se conservan este tipo de bosques y donde se encuentran sus manifestaciones más maduras, siempre alejadas de las zonas basales, donde se veían afectados por los recurrentes incendios provocados por los pastores. Estas formaciones más evolucionadas presentan una gran densidad y diversidad con especies acompañantes como el *Arbutus unedo* que en ocasiones forma madroñeras o el mostajo (*Sorbus torminalis*) y el acebuche (*Olea europea* var. *sylvestris*). Entre los arbustos destacan el durillo (*Viburnum tinus*) las pistáceas (*Pistacea terebinthus* y *P. lentiscus*) y diversas especies de brezo.

En los fondos de valle y vaguadas los bosques marcescentes de roble y quejigo están constituidos por ejemplares generalmente viejos. Dada la mayor productividad de estos suelos, han sido más explotados que otras zonas, por lo que sus estratos arbustivo y herbáceo se encuentran en gran medida modificados. En algunos casos la elevada humedad permite el desarrollo de fresnos (*Fraxinus angustifolia*) y arbustos como *Erica scoparia* y *Erica lusitánica*. De manera menos frecuente se pueden encontrar diversas rosáceas, y en algunos casos especies como los gamones (*Asphodelus* sp.) indicadores de zonas quemadas o roturadas.

Las formaciones dominadas por la encina parecen provenir en su gran mayoría de distintas actividades humanas, tendentes a favorecer el desarrollo de esta especie. Las zonas donde sí parecen ser naturales son las cumbres y pedrizas del piso supramediterráneo y zonas de gran pendiente y elevada xericidad.

2. Formaciones riparias:

En esta categoría se agrupan las formaciones arbóreas de especies caducifolias que se desarrollan en las riberas. En los casos mejor conservados se trata de bosques umbrosos en donde se instalan árboles y plantas que requieren humedad todo el año.

Estos bosques se dan principalmente en los cauces del piso mesomediterráneo y sus zonas de transición. Se pueden encontrar fresnos, quejigos, arces (*Acer monspessulanum*) y sauces (*Salix atrocinerea*) también en algunas zonas castaños (*Castanea sativa*) y avellanos (*Corylus avellana*). En las zonas más umbrosas de los cauces de la sierra del Chorito se refugian especies laurifolias como el acebo (*Ilex aquifolium*), el madroño (*Arbutus unedo*) e incluso el loro (*Prunus lusitánica*).

Otras zonas de menor altitud con cauces temporales, aunque con mantos acuíferos que permitan el desarrollo de un bosque ripario, se sitúan en los fondos de valle de las zonas orientales. Allí aparecen fresnos (*Fraxinus angustifolia*) y también sauces. En las zonas mejor conservadas aparece el arraclán (*Fragula alnus*) y el mirto de brabante (*Myrica gale*).

3. Formaciones arbustivas:

Es el tipo de vegetación que mayor superficie ocupa en el conjunto de Cabañeros y el tipo de vegetación que más nos interesara más adelante por su importancia en la gestión de incendios forestales.

Las formaciones arbustivas más extendidas en la zona supramediterránea son los jarales-brezales, jarales, rodales de roble y matorrales de menor altura como nanojaral-brezales y cantuesales. Las especies más características de los primeros son *Erica australis* y *Cistus ladanifer*, mientras que en las formaciones de menor porte destacan *Erica umbellata*, *Hallimium ocymoides* y *Calluna vulgaris*.

En el piso mesomediterráneo cabe diferenciar entre las zonas de matorral alto o madroñales, de gran porte y elevada cobertura. Se sitúan en las laderas y zonas basales. En estas zonas dominan los madroños acompañados de un estrato inferior que puede ser de *Erica australis*, *Cistus populifolius* y otros *Cistus*, si bien pueden aparecer algunos ejemplares sueltos de alguna de las especies de los bosques mixtos anteriormente mencionados (encina, alcornoque...).

Las otras formaciones que se dan en este piso son los jarales y brezales compuestos generalmente por plantas con una gran plasticidad ecológica y de carácter pionero, cuya aparición puede deberse o bien a incendios cíclicos o a roturaciones.

4. Pastizales:

Los pastizales ocupan una elevada extensión dentro de Cabañeros y son principalmente resultado de las actividades humanas en los pasados siglos, como se explicó previamente.

Los pastos constituyen el tipo de vegetación de mayor diversidad florística, y hay que diferenciar principalmente entre los pastizales anuales (Terófitos), que ocupan grandes extensiones en las dehesas y cultivos abandonados y los pastizales vivaces (Hemicriptófitos) vallicares y praderas juncas que se encuentran en las zonas más deprimidas de las rañas.

En los pastizales anuales cabe destacar las compuestas, gramíneas, leguminosas y cariofiláceas. Mientras que en los vallicares resaltan especialmente especies como el *Agrostis castellana*, *Linum bienne*, *Silene laete* y *Gaudinia fragilis*. Las praderas-juncas están constituidas por plantas como *Scirpus holoschoenus*, *Briza minor* y *Mentha suaveolens*.

5. Vegetación rupícola y saxícola:

Las plantas que habitan las pedrizas y fisuras de los roquedos son taxones muy especializados que constituyen formaciones de escasa

cobertura. En algunos afloramientos rocosos pueden aparecer especies como el enebro o la encina y en general las plantas presentes en estas formaciones son mayoritariamente de carácter acidófilo.

Las plantas más comunes son *Cheilanthes tinai*, *Cheilanthes hispánica*, *Sedum brevifolium*, *Sedum hirsutum*, *Coincya longirosta* y *Digitalis mariana*.

6. Vegetación acuática:

Otro grupo de plantas muy especializado que ocupa el territorio de Cabañeros son las plantas acuáticas que habitan los cursos de agua y las lagunas. Se pueden encontrar plantas hidrófitas como los nenúfares (*Nuphar luteum*) el *Hidrocotyle vulgaris* y *Myriophyllum alterniflorum*. Y también comunidades anfibias en charcas de poca profundidad con plantas como *Littorella uniflora*, *Eringium corniculatum* y *Eleocharis palustris*.

1.3.5. Uso público

En este apartado se procede a la descripción del uso público que durante los últimos años se realizaba en Cabañeros, si bien durante la redacción del presente trabajo se está procediendo a la reestructuración del mismo además de que el Consejo de Ministros, a propuesta del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA), ha aprobado remitir a las Cortes el Proyecto de Ley de Parques Nacionales, que der ser aprobado supondrá un nuevo marco dentro del uso público en los parques nacionales incluido Cabañeros (MAGRAMA, 2014).

La nueva ley declararía incompatibles la caza y la pesca además de autorizar el desarrollo de actividades comerciales relacionadas con el uso público y el turismo rural por parte de propietarios de terrenos, lo cual afecta de gran manera a Cabañeros en cuanto a que casi la mitad de su extensión son fincas privadas.

El parque cuenta actualmente con cinco centros de visitantes, además de que se está terminando la construcción del nuevo centro de interpretación que sustituirá al actual de Casa Palillos.

Dentro del parque existen dos rutas en vehículos 4x4 autorizadas cuya gestión lleva una empresa privada. También hay trece rutas señalizadas a pie de tránsito libre o con solicitud previa de guía.

Existen seis aparcamientos para visitantes además de dos miradores, dos áreas recreativas y un observatorio de cigüeñas.

Durante el periodo 2007-2010 el parque recibió entre 70000 y 92000 visitantes cada año (OAPN, 2010) mostrando una tendencia creciente si bien es significativamente menor que en otros parques de la red. Durante dicho periodo solo se registraron un total de cuatro sanciones relacionadas con la circulación fuera de pistas autorizadas.

Cabañeros es el segundo parque de la red con menos población en su área de influencia socioeconómica que ronda los 6000 habitantes y teniendo una tendencia decreciente en los últimos veinte años (OAPN, 2010).

Actualmente se están llevando a cabo la repoblación de la zona afectada por un incendio forestal en el año 2012 mediante un programa de voluntariado llevado a cabo por WWF España además de por cuadrillas profesionales (La Tribuna de Ciudad Real, 2014).

1.3.6. Medios de extinción

1.3.6.1. Medios terrestres

El Parque Nacional de Cabañeros dispone de dos retenes y dos autobombas propias además de tres torretas de vigilancia.

Retenes:

-Retén de Gargantilla: Integrado por 1 jefe de cuadrilla, 1 conductor, 5 peones especializados y 1 vehículo todoterreno en cada turno y día. En total, 14 personas y dos vehículos todoterreno.

-Retén de los Porches: Integrado por 1 jefe de cuadrilla, 1 conductor, 5 peones especializados y 1 vehículo todoterreno en cada turno y día. En total, 14 personas y dos vehículos todoterreno.

Autobombas:

-Autobomba de Navalgallo: Servicio compuesto por 1 conductor de vehículo autobomba y 1 peón especializado en cada turno y día. En total, 4 personas.

-Autobomba de La Alcornquera: Servicio compuesto por 1 conductor de vehículo autobomba y 1 peón especializado en cada turno y día. En total, 4 personas.

Torretas:

-Torreta de Las Llanas: Servicio compuesto por 1 peón especializado en cada turno y día. En total, 2 personas.

-Torreta de Palillos: Servicio compuesto por 1 peón especializado en cada turno y día. En total, 2 personas.

-Torreta de Gargantilla: Servicio compuesto por 1 peón especializado en cada turno y día. En total, 2 personas.

También cuenta con una patrulla de vigilancia nocturna integrada por 1 conductor y 1 peón especializado por turno y noche, en un vehículo todoterreno equipado con extintores de explosión, batefuegos, macleods, pulaskis, palines y ocho extintores de mochila. Y una central de incendios disponible 23 horas al día durante la campaña de incendios situada en el Centro Administrativo del Parque Nacional, en Pueblo Nuevo del Bullaque.

Aparte hay que contar con medios de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha localizados dentro del Parque Nacional y en zonas cercanas, que son susceptibles de cambiar su localización y cuantía cada año. Usualmente son tres retenes, una autobomba y una patrulla nocturna. Su distribución durante 2013 era la mostrada en la Tabla 2 y la Figura 4.

Tabla 2: Medios terrestres.

MEDIO	NOMBRE	X	Y
Torreta	Las Llanas	377676	4360118
Torreta	Palillos	386605	4350977
Torreta	Gargantilla	364555	4367888
Retén	Gargantilla	365133	4367598
Retén	Los Porches	384499	4352368
Retén (JCCM)	Labradillo	372276	4355684
Retén (JCCM)	Piedras Picadas	370512	4367133
Retén (JCCM)	Navalgallo	373521	4363493
Autobomba	Los Porches	384499	4352368
Autobomba	Navalgallo	373521	4363493

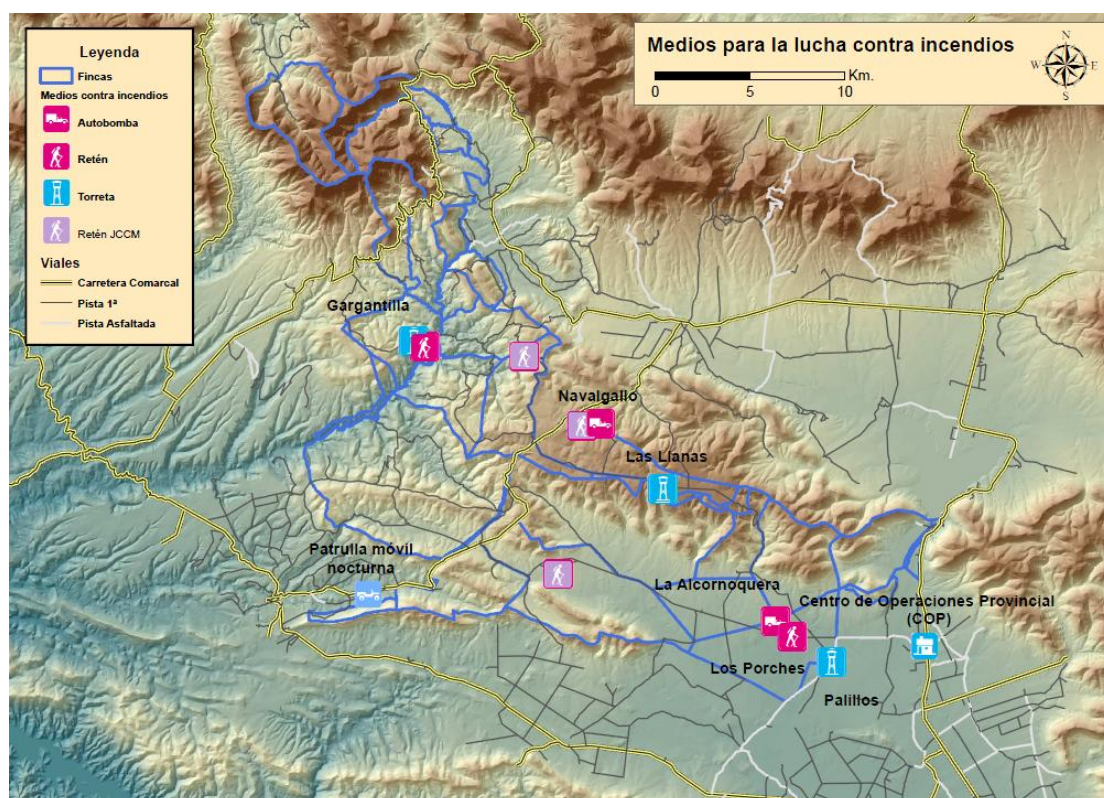


Figura 4: Posición medios terrestres. Fuente (OAPN).

En nuestro estudio se consideraran los retenes de Los Porches, Navalgallo y el retén de Labradillo, de la Junta de Castilla-La Mancha, ya que son los que se encuentran dentro de la zona de estudio.

1.3.6.1. Medios aéreos

Dentro de los medios aéreos pertenecientes a la Junta de Castilla-La Mancha existen cuatro bases en las cercanías del parque. Una de ellas se trata de una pista auxiliar y el resto cuenta con retenes helitransportados.

Medios aéreos de la junta:

-Base de Quinto de Don Pedro: Base principal para los medios aéreos del dispositivo de extinción de incendios forestales. Dos aviones Air Tractor 802 y un avión de coordinación CESSNA Push Pull, además de una brigada helitransportada.

-Base de Alcoba: Dos brigadas helitransportadas.

-Base de Robledo del Buey: Una brigada helitransportada.

-Base de Nava de Don Diego: Pista auxiliar.

1.3.6. Vías

Los viales que dan acceso y circulan por terrenos forestales cumplen dos funciones fundamentales frente a los incendios forestales:

-Prevención: Previamente a la emergencia, posibilitan la vigilancia y disuasión por parte de los agentes forestales y permiten el acceso al monte para realizar los trabajos forestales de prevención.

-Extinción: Una vez generada la emergencia por incendio forestal posibilitan el acceso de los medios terrestres de extinción.

La red viaria del parque está clasificada en, carreteras (la carretera Retuerta Horcajo discurre por el parque) y en pistas de primera o de segunda en función

de sus características. Dentro del parque la velocidad máxima permitida para las pistas forestales es de 30 Km/h.

La zona de estudio cuenta con 468 km de pistas para una superficie de 16018 ha, encontrándose salvo algún caso puntual en condiciones óptimas. Tomando como referencia bibliográfica el libro de Ricardo Vélez (Vélez Muñoz, 2009) la red de pistas puede clasificarse como densa.

$$Densidad = \frac{3,12 \text{ km}}{100 \text{ ha}}$$

2. Estado del arte

Durante el siguiente punto se realiza una descripción de algunos trabajos que por tener un fin similar a las partes a desarrollar en el presente estudio pueden servir como base para el desarrollo de la metodología y de discusión.

Para ello en cada apartado se realiza una pequeña introducción del mapa/método a desarrollar para terminar con una pequeña descripción de los estudios previos en la materia, y una explicación de cómo se decidió afrontar finalmente cada parte.

2.1 Mapa de peligrosidad del medio

Todo sistema de prevención de incendios forestales debe contar con instrumentos capaces de predecir su ocurrencia con un margen aceptable de probabilidad. Esta es la finalidad de los índices de riesgo de incendios que tratan de predecir cuándo, dónde y cómo se desarrollara un incendio forestal (Vélez, 2000).

En primer lugar hay que explicar la distinción que se hace entre riesgo y peligro en castellano reflejo de la que en lengua inglesa se realiza entre *risk*, *danger* y *hazard* (Salas, y otros, 2004).

El concepto riesgo de incendios se refiere a la probabilidad de que se inicie un incendio, definida dicha probabilidad por la naturaleza y nivel de actividad de los agentes causantes de incendios ligado en gran medida a la actividad humana mientras que el peligro de incendio se refiere a las características intrínsecas del incendio una vez iniciado, está vinculado a la dificultad de extinción y depende principalmente de factores como la meteorología, la topografía y la combustibilidad de los vegetales (Planelles González, 2009).

Otro concepto importante es el de la vulnerabilidad, que se define como el grado de pérdidas o daños que pueden sufrir, ante un incendio forestal, la población, los bienes y el medio ambiente (Govern De Les Illes Balears, 2001). Los análisis de vulnerabilidad son en base económica teniendo en cuenta la valoración de los sistemas forestales y sus grados de protección, del patrimonio histórico artístico, de infraestructuras...

El riesgo integra el peligro y la vulnerabilidad del territorio y hay que tener en cuenta que mientras que la vulnerabilidad es estática el peligro sí que puede cambiar con el tiempo ya que depende del modelo de combustible presente.

También es importante definir en el análisis del riesgo de incendios la escala a la que se va a trabajar, pudiendo hacerse una estimación del peligro a corto plazo (semanal o diariamente) que tendrá en cuenta la información obtenida de estaciones meteorológicas o información obtenida en campo del estado de los combustibles o bien una estimación a largo plazo en la que se consideraran las variables más estables en el tiempo y que afectan tanto a la ignición como a la propagación (Chuvieco, y otros, 2004).

A continuación se trata primero las experiencias previas y nuevas tendencias para la obtención de mapas de combustibles y más tarde un esbozo de los diferentes métodos para la integración de las variables elegidas para los mapas de riesgo/peligro de incendio.

2.1.1. Modelos de combustible

En la propagación de un incendio forestal influyen las características de la vegetación, el viento reinante y las condiciones topográficas. En lo que se refiere a la vegetación resulta clave considerar su estado hídrico y estructura (ICONA, 1990).

Medir todos los factores que influyen en la combustibilidad para cada formación vegetal sería demasiado lento, es por ello por lo que en los años setenta en los Estados Unidos se inició una nueva línea de investigación en el Laboratorio de Ciencias del Fuego de Missoula, para la elaboración de modelos matemáticos que predijeran el comportamiento del fuego en los incendios forestales.

Dicha investigación dio lugar a la creación de una tipología de modelos de combustible dentro del programa de modelización del fuego BEHAVE. En total consta de trece modelos agrupados en cuatro categorías en función del elemento propagador del fuego, son los llamados modelos de combustible de Rothermel-Albini (Burgan, y otros, 1984) cabe destacar que un modelo de combustible describe las características físicas del combustible y no del tipo de especie (Andrews, y otros, 2001).

La clave de modelos de combustibles de Rothermel ha sido ampliamente utilizada en todo el mundo y ha servido como base para la creación de muchas otras. En el marco de un proyecto europeo (Prometheus) se desarrolló una nueva tipología que dio lugar a una caracterización más acorde con la

vegetación mediterránea (Riaño, y otros, 2001). Se trata de la clave de modelos de combustibles Prometheus (Prometheus, 1999), que incluye siete modelos considerando tres elementos de propagación (pastizal, hojarasca y matorral).

A continuación se presentan tablas y esquemas que describen los modelos de combustible utilizados de ambas claves (Tabla 3, Tabla 4, Figura 5).

Modelos de combustible de Rothermel:

Tabla 3: Descripción de los modelos de combustible de Rothermel.

Grupo	Modelo	Descripción	Altura (m)	Carga (t/Ha)
Pastizales (propagación por el pasto)	1	Pasto fino con poco matorral	0,2-0,4	1-2
	2	Pasto con matorral y arbolado claro	0,2-0,4	7-10
	3	Pasto grueso, alto con poco matorral	0,5-1,0	6-8
Matorral y hojarasca (Propagación por follaje y hojarasca)	4	Matorral alto y repoblados	2	28-36
	5	Matorral bajo con hojarasca	0,4-0,8	7-9
	6	Matorral con hojarasca y restos	0,5-1,0	12-18
	7	Sotobosque propagador	0,5-1,0	9-13
Bosques (Propagación por restos sotobosque y hojarasca)	8	Propaga hojarasca sin matorral	-	10-13
	9	Hojarasca suelta	-	6-10
	10	Con sotobosque	0,2-0,4	24-30
Desechos de poda y restos de corta	11	Restos de poda ligeros	0,2-0,4	22-30
	12	Más desechos que arboles	0,5-1,0	70-90
	13	Restos pesados de corta	0,75-1,25	100-140

Modelos de combustible de Prometheus:

Tabla 4: Descripción de los modelos de combustible Prometheus.

Grupo	Modelo	Altura media (m)	% Matorral	Dif.altura
Pastizal	1	-	-	-
	2	0,3-0,6	>60%	-
Matorral	3	0,6-2	>60%	-
	4	2-4	>60%	-
Bosque	5	>4	<30%	-
	6	>4	>30%	>0,5m
	7	>4	>30%	<0,5m

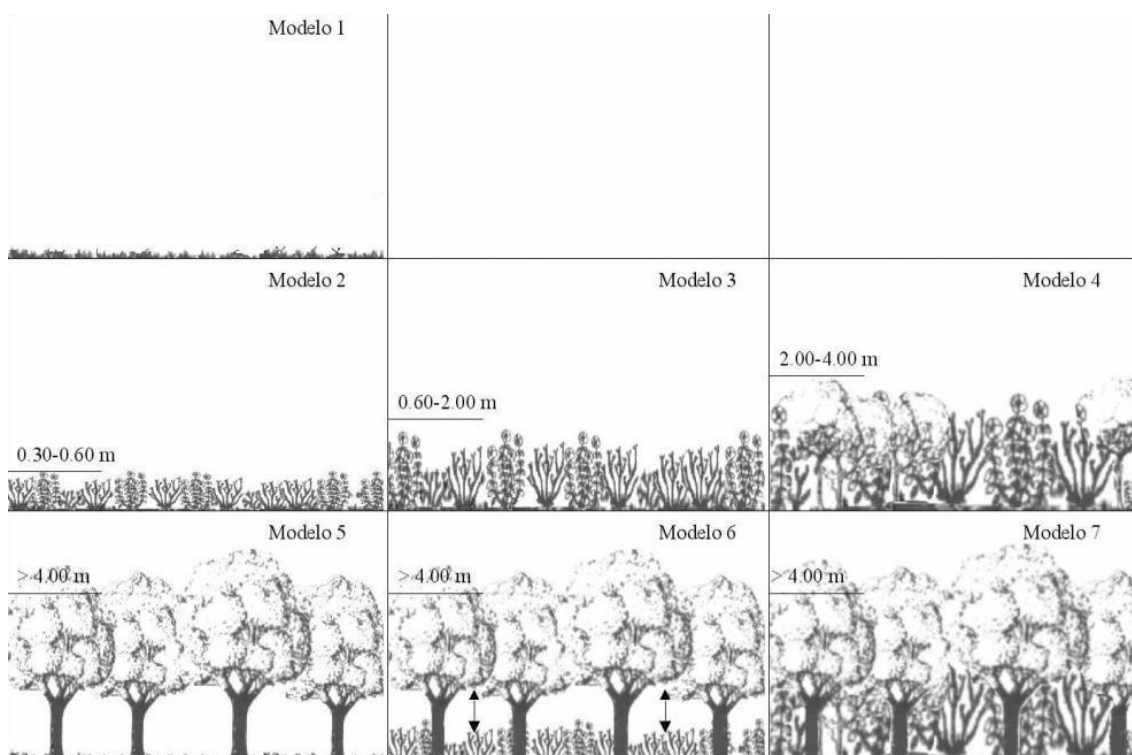


Figura 5: Esquema de los modelos de combustible Prometheus.

2.1.1.1 Cartografía de modelos de combustible

La llamada cartografía de modelos de combustible es muy útil para diversos estudios, ya sea para los sistemas de prevención de incendios integrada en mapas de peligro de incendio (Castilla-la Mancha, 2013); (Región de Murcia, 2009); (Basilio Rada, 2004) o para la predicción y modelado del comportamiento de los incendios forestales (Ramírez, 2013).

Actualmente en España la cartografía de modelos de combustible disponible para todo el territorio nacional deriva del Mapa Forestal de España escala 1:50000 (Mapa Forestal de España (MFE50), 1997-2006) la cual no tiene un buen nivel de detalle para un estudio a nivel local ni una frecuencia de actualización óptima para este tipo de cartografía.

La creación de mapas de combustibles de forma sencilla, utilizando los mínimos recursos económicos y con la posibilidad de actualizarlos periódicamente para su integración en los planes de lucha contra incendios es la principal motivación de todos los siguientes trabajos.

El método más preciso de determinación sería con trabajo de campo pero dado el tiempo necesario para su elaboración, además de su elevado coste, no es viable más que para algunos casos concretos.

A comienzos de la pasada década se realizaron diversos estudios para determinar si sería posible la creación de dichos mapas mediante el uso de datos de sensores remotos clasificados e integrados en mapas mediante sistemas de información geográfica.

En España hay varios ejemplos de teledetección espacial usada como tecnología geográfica para la cartografía de modelos de combustible como el llevado a cabo en el noreste de la Comunidad de Madrid utilizando imágenes Quickbird que dio niveles de precisión del 80% (Arroyo, 2006).

Otros estudios de interés son los realizados por el Departamento de Geografía de la Universidad de Alcalá y en concreto el que realizaron en el Parque Nacional de Cabañeros que utilizó imágenes Landsat-tm con las que se creó una cartografía de modelos de combustible con la clave Prometheus, utilizando el método de clasificación supervisada (Riaño, y otros, 2001). Si bien en este trabajo se llegó a obtener una fiabilidad del 83%, los autores encontraron problemas para identificar la altura de la vegetación, especialmente importante

para discernir entre los modelos de matorral, y determinar la presencia de sotobosque en masas cerradas.

Con la aparición del LiDAR aerotransportado estos problemas en parte pudieron solucionarse, existiendo un gran número trabajos que estudian la mejor forma de clasificar la información que éstos proporcionan para la creación de cartografía de modelos de combustible.

El LiDAR aerotransportado es un sistema activo, toma las coordenadas XYZ del terreno a través de un sensor de barrido que realiza la emisión de pulsos láser y mide el tiempo que tardan dichos pulsos en llegar a la superficie terrestre y volver hasta el sensor, pudiendo obtener mayor precisión (entre 5-15cm) y una mayor densidad de medidas que con el uso de fotogrametría. En España están disponibles datos LiDAR para casi la totalidad de la cobertura nacional (Balma forestal SLP, 2009).

Mediante la nube de puntos LiDAR es posible obtener un modelo digital del terreno (MDT), una vez se han filtrado y clasificado los puntos para determinar los pertenecientes al suelo. También es posible realizar un modelo digital de superficies (MDS) y un modelo digital de la vegetación (MDV) y estimar un gran número de variables forestales, altura del dosel de copas, biomasa existente, fracción de cabida cubierta (FCC)...

Existen un gran número de estudios de investigación que prueban la efectividad de combinar LiDAR aerotransportado con imágenes de satélite (Erdody, 2010); (Jakubowski, y otros, 2013); (Riaño, y otros, 2007) si bien siguen existiendo algunas cuestiones sin resolver, en especial en el caso de determinar los modelos caracterizados por matorral bajo cubierta, ya que son necesarias altas densidades de puntos para poder estimar su altura y densidad.

También puede ser problemático la obtención de un MDT lo suficientemente preciso en lugares con elevadas pendientes y vegetación arbustiva densa como es el caso de algunas zonas de Cabañeros. En relación a este problema existe una tesis doctoral en la UPV que utiliza un nuevo algoritmo de cálculo para el MDT y estudia la obtención de variables forestales en dichas zonas (Cremades, 2011). En el trabajo de (Riaño, y otros, 2007) también se trató, habiéndose observado que algunos de los pulsos del láser correspondientes a los matorrales eran confundidos con el suelo.

En alguno de los estudios citados, las imágenes de satélite son utilizadas para obtener los polígonos o teselas de la vegetación mientras que la información para caracterizar los modelos de combustible en cada tesela se obtiene de los datos LiDAR como es el caso del trabajo (Ramírez, 2013) que obtiene las teselas

mediante un análisis de imágenes orientado a objetos a partir de las ortofotografías de color e infrarrojo utilizando eCognition©.

Otros las utilizan para identificar entre los pulsos del láser correspondientes al suelo y la vegetación (Riaño, et al., 2007) o como en este caso fusionan imágenes Quickbird con los datos LiDAR y realizan una clasificación supervisada del conjunto (Mutlu, y otros, 2007)

En nuestro caso como veremos más adelante y dado que se cuenta con un mapa de vegetación muy preciso, solo se usaran los datos LiDAR proporcionados por el Centro Cartográfico de Castilla-La Mancha.

2.1.2. Integración de la información

Lo primero es definir las variables de peligro que serán elegidas en función del uso que más tarde se dará al mapa de riesgos y en función de la escala temporal elegida. El número de variables utilizadas para medir el riesgo estructural según la selección de trabajos recopilada en el libro de Emilio Chuvieco (Chuvieco, y otros, 2004) van desde las tres variables hasta más de treinta.

Las variables más repetidas en la realización de mapas de peligro son la topografía, los modelos de combustible, el clima y las diferentes variables de carácter humano.

Se han utilizado diferentes métodos para integrar estas variables siendo los más comunes los métodos basados en criterios cualitativos o cuantitativos, el análisis de regresión, redes neuronales (Vilar del Hoyo, 2007) y modelos basados en índices de peligro estándar o de propagación del fuego (BEHAVE, Wildfireanalyst)

En general los mapas de riesgo utilizados por las administraciones integran las diferentes variables usando criterios cualitativos o cuantitativos.

- Cuantitativos: (Junta de Andalucía, 2013); (Generalitat Valenciana, 2010).
- Cualitativos: Con matriz de decisión o tablas cruzadas, (Gobierno del Principado de Asturias, 2007); (Junta de Comunidades de Castilla La Mancha, 2013).

En especial es interesante el mapa de riesgo potencial llevado a cabo en toda Castilla-la Mancha (Copete, y otros, 2007) que más tarde servirá de base para

crear nuestro mapa de peligrosidad del medio en el Parque Nacional de Cabañeros.

Este último estudio comienza por realizar un mapa de riesgo estadístico y un mapa de peligro del medio y luego intersecta los dos mapas anteriores para crear un mapa de riesgo potencial de toda la comunidad autónoma.

También es interesante la información incluida en el borrador del plan director de CCM en el que se integra peligro y vulnerabilidad para obtener el mapa de riesgo de incendios (Junta de Comunidades de Castilla La Mancha, 2013) si bien nosotros no estudiaremos esta última componente que podría ser objeto de un trabajo posterior para su final integración en la creación de un mapa de riesgo.

2.2. Análisis de accesibilidad

El tiempo de llegada de los primeros medios de extinción a un incendio forestal es crucial para estudiar la efectividad con la que estos podrán hacer frente al incendio y la gravedad potencial que pueda alcanzar. Existe un tiempo de respuesta crítico de unos 25-35 min (Moreno, y otros, 2012).

Dentro de los planes de defensa contra incendios forestales el estudio del tiempo de llegada se realizaba tradicionalmente con la realización de una cartografía de isócronas de medios terrestres y aéreos (Gobierno del Principado de Asturias, 2007), (Basilio Rada, 2004). La manera más sencilla y la más utilizada para realizar la cartografía de isócronas es asignando una velocidad de desplazamiento y penetrabilidad de los medios de extinción a cada uno de los modelos de combustible, mediante sistemas de información geográfica. Esta metodología es aplicable siempre que se tengan una cartografía de modelos de combustible, que es nuestro caso.

Tabla 5 : Velocidad de desplazamiento y penetrabilidad en función de los modelos de combustible presentes. Fuente (Govern De Les Illes Balears, 2001).

Modelo	Pendiente							
	0-3%		3-12%		12-35%		>35%	
	D	P	D	P	D	P	D	P
1	10 km/h	4 km/h	10 km/h	3 km/h	10 km/h	2 km/h	0 km/h	1 km/h
2	10 km/h	4 km/h	10 km/h	3 km/h	10 km/h	2 km/h	0 km/h	1 km/h
3	0 km/h	3 km/h	0 km/h	2 km/h	0 km/h	1 km/h	0 km/h	1 km/h
4	0 km/h	2 km/h	0 km/h	1 km/h	0 km/h	1 km/h	0 km/h	25 m/h
5	10 km/h	4 km/h	10 km/h	3 km/h	10 km/h	2 km/h	0 km/h	1 km/h
6	0 km/h	3 km/h	0 km/h	2 km/h	0 km/h	1 km/h	0 km/h	25 m/h
7	0 km/h	3 km/h	0 km/h	2 km/h	0 km/h	1 km/h	0 km/h	25 m/h
8	0 km/h	4 km/h	0 km/h	3 km/h	0 km/h	2 km/h	0 km/h	1 km/h
9	0 km/h	4 km/h	0 km/h	3 km/h	0 km/h	2 km/h	0 km/h	1 km/h

En algunos planes también se estudiaba realizando un análisis general utilizando la base de datos EGIF que contiene información acerca del tiempo de llegada del primer medio de extinción.

El principal problema de la cartografía de isócronas de medios terrestres es que al tratarse de capas raster y por muy pequeño que sea el tamaño del pixel escogido puede no reflejar en algunos casos la realidad, pudiendo existir accidentes del terreno, barreras o cualquier otra interrupción que por su tamaño no se vea reflejado pero que sea insalvable para los vehículos.

Por ello se han llevado a cabo en los últimos años estudios que analizan la red viaria y los medios terrestres disponibles mediante la utilización de análisis de redes para ver si es viable incorporar esa información en los planes de respuesta en sustitución de la cartografía de isócronas.

El análisis de rutas con un SIG consiste en la simulación del movimiento sobre una red viaria digitalizada (Planelles González, 2009). El principal factor limitante es la disponibilidad de una capa SIG de la red viaria ya que su digitalización es muy costosa.

El análisis de rutas puede tener dos ámbitos de aplicación, uno dentro de la prevención ya que se puede estudiar el tiempo de llegada desde distintas bases de incendios a puntos críticos y en función de dicho tiempo realizar una optimización o bien de las vías forestales o de la posición de medios terrestres para ofrecer una mejor respuesta ante un posible incendio forestal. Es el caso del estudio realizado por Akay (Akay, y otros, 2011).

Otro ámbito de aplicación complementario es el de la extinción in situ, con el desarrollo de aplicaciones SIG/WEB que en el caso de incendio indiquen la base con menor tiempo de respuesta y la ruta optima, pudiendo incluir barreras dentro de la red si fuera necesario en el caso de que alguna vía se encuentre cerrada ya sea por el propio incendio o cualquier otro motivo. En este sentido se orienta el trabajo de fin de master incluido dentro del proyecto SATFOR realizado en el término municipal de Valdés (Moreno, y otros, 2012).

En ambos casos realizan al comienzo un mapa de riesgos de las zonas de estudio si bien este toma más importancia dentro del estudio de Akay y otros (2011) ya que lo utilizan para estudiar una posible optimización de las bases de los medios terrestres y aéreos contra incendios.

Si bien estos trabajos tienen una limitación, y es que solo es posible estudiar el tiempo de llegada hasta un punto en la vía más cercana, sin tener en cuenta el trayecto extraviario hasta el posible incendio. Este tiempo en muchos casos supera con creces el del trayecto por la vía, pudiendo ser más rápido el acceso al

incendio desde otro punto de la vía, desde el cual se circule por un terreno más fácilmente desplazable.

Más adelante se intenta dar una solución a este problema combinando el uso del análisis de redes con la cartografía de isócronas.

3. Material y métodos

En el siguiente apartado se describen tanto los datos y programas utilizados como las metodologías desarrolladas para la consecución de los objetivos marcados.

Está dividido en dos partes, una primera que describe como se ha creado el mapa de peligrosidad del medio, que más tarde será utilizado en el análisis de accesibilidad.

La segunda parte de este apartado describe el análisis de accesibilidad realizado tanto con metodologías clásicas, así como las nuevas metodologías desarrolladas para estudiar el tiempo de respuesta de los medios terrestres de extinción, con las que se trata de combinar los planteamientos clásicos con un análisis de redes.

Para cada una de estas partes se presentan esquemas que se espera que faciliten la comprensión de dichas metodologías.

Se ha decidido exponer los resultados y discusión al final de cada sección, en vez de separarlo en un nuevo apartado por considerar que facilitara la comprensión de los resultados. En otro apartado se presentan las conclusiones.

3.1. Mapa de peligrosidad del medio

Para la creación del mapa de peligrosidad del medio se ha diseñado una metodología sencilla aplicable a grandes extensiones de terreno y de forma económica.

El principal avance, y la parte más laboriosa, de este punto, es el desarrollo de una cartografía de modelos de combustible a partir de datos LiDAR, cuyo desarrollo y resultados aquí se describen.

Más tarde se explica cómo se ha integrado dicha cartografía con otros parámetros para la creación del mapa de peligrosidad, y se analizan los resultados para la zona de estudio.

3.1.1 Datos y programas utilizados

Datos:

1. Datos LiDAR proporcionados por el Centro Cartográfico de Castilla-La Mancha “© Junta de Comunidades de Castilla La Mancha - Instituto Geográfico Nacional de España”.

Fueron adquiridas un total de 251 hojas LiDAR correspondientes a toda la extensión del Parque Nacional de Cabañeros y alrededores de las que hubo que seleccionar más adelante las de nuestra zona de estudio.

Según las especificaciones del Centro Cartográfico de Castilla-La Mancha los datos contaban con una densidad de puntos de 0,5 pts/m² y los vuelos se habían realizado en el año 2009. Tras un primer análisis se vio que las hojas de la zona de estudio contaban en realidad con una densidad de puntos media de 0,67 pts/m² y que los vuelos habían sido realizados entre 2009 y 2010.

2. Cartografía de los sistemas naturales de vegetación del Parque Nacional de Cabañeros realizada por fotointerpretación sobre ortofotografías del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) completada con trabajo de campo proporcionado por los técnicos del OAPN del Parque Nacional de Cabañeros (OAPN, MAGRAMA, 2013).

De esta cartografía con un alto nivel de detalle se va a utilizar fundamentalmente la capa con las teselas de la zona de estudio y las tablas asociadas con información acerca de la vegetación presente en cada tesela.

3. MDT del IGN: Modelo digital del terreno con un paso de malla de cinco metros generado a partir de correlación de vuelos PNOA del año 2010.

Programas:

Para la realización de esta parte del proyecto se utilizaron los siguientes programas:

- ArcGIS 9.3: Para la consulta de datos LiDAR y otras fuentes cartográficas y generar diferentes mapas.¹
- Fusion 3.41: Para la edición y filtrado de los datos LiDAR, cálculo del MDT y variables forestales (MacGaughey, 2014).

¹ ArcGIS® y ArcMap™ son propiedad intelectual de Esri Copyright ©

3.1.2 Mapa de combustibles

Como se ha indicado anteriormente la creación del llamado mapa de combustibles ha sido la parte más laboriosa del proyecto, principalmente por haber tenido que profundizar en el manejo de datos LiDAR.

Si bien la creación de dicho mapa se hizo al comienzo únicamente para integrarlo en el mapa de peligrosidad del medio, finalmente ha sido de gran utilidad como se verá más adelante al realizar el análisis de accesibilidad para estudiar los tiempos de desplazamiento y penetrabilidad por terreno forestal, y se espera que sea de utilidad en los trabajos de prevención realizados dentro de la zona de estudio.

3.1.2.1 Extracción del MDT y de las variables forestales a partir de datos LiDAR

El primer paso antes de comenzar a procesar las hojas de LiDAR fue seleccionar entre todas las recibidas aquellas correspondientes con nuestra zona de estudio. Para ello se cargan las 251 hojas con las herramientas de visionado de capas de puntos de ArcGIS, la capa que contiene los límites de la zona de estudio y un mapa de pendientes creado previamente a partir del MDT proporcionado por el IGN.

Cruzando la información que nos proporcionan las anteriores capas se seleccionan las hojas que cubren la zona de estudio. También y ayudándose con la capa de pendientes se dividen las hojas previamente seleccionadas en tres grupos diferenciados (Tabla 6) correspondientes a la zona de Las Llanas (fundamentalmente pinar), la raña y las laderas con más o menos pendiente de las sierras situadas entre la finca de las Llanas y las zonas bajas adeshadas (Sierras).

Tabla 6: Hojas LiDAR utilizadas.

Grupo	Nº hojas	Densidad de puntos(ptos/m²)
Raña	21	0,42
Pinar	11	0,67
Sierras	36	0,57

Esta subdivisión se hace principalmente por dos motivos, el primero por hacer más sencillo el procesado de los datos ya que dado el gran volumen de información que contiene cada hoja, los tiempos de procesado para todo el conjunto son muy elevados. Otro motivo, que posteriormente se reveló menos importante, fue que dadas las diferentes características de los tres tipos de terreno que condicionan esos tres tipos de vegetación hacen que convenga procesar los datos individualmente con FUSION para poder aplicar diferentes parámetros dentro de los comandos.

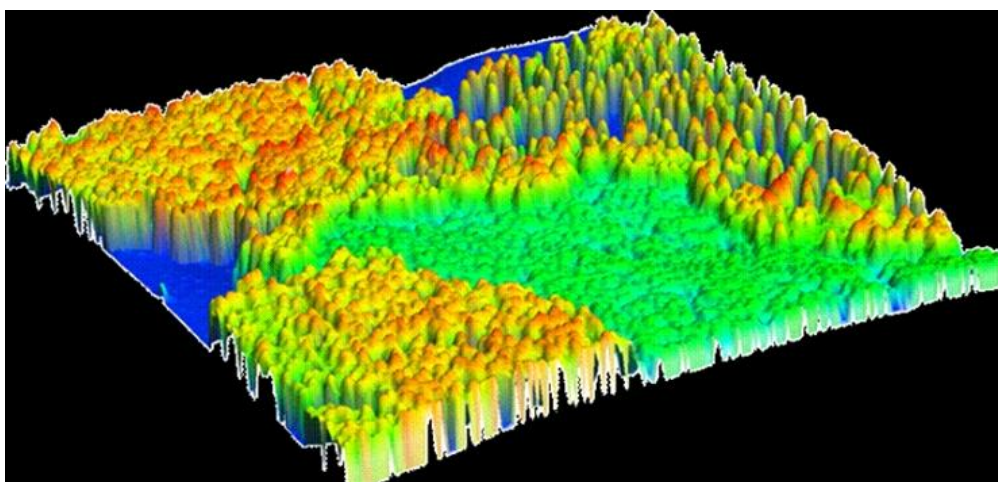


Figura 6: Datos LiDAR visualizados con FUSION.

Algunas hojas en los límites de cada zona se procesaron con dos grupos para ver con cual salen datos más fiables. Obteniendo datos muy similares al analizar las hojas con los diferentes comandos de los diferentes grupos (Anexo I. Herramientas y códigos FUSION).

La selección de los comandos adecuados a utilizar para cada una de las tres zonas fue realizada tras el estudio previo de una única hoja de datos LiDAR representativa de cada una de las tres zonas, probando con varios criterios de filtrado de los datos.

Si bien los comandos utilizados pueden variar, el proceso seguido para cada uno de los tres grupos es el mismo por ello en el siguiente apartado se describirá el proceso general, mientras que las diferentes herramientas y comandos aplicados se pueden encontrar detallados en el Anexo I.

El procesado de los datos se llevó a cabo con las utilidades de línea de comandos y programas de procesamiento pertenecientes al FUSION LIDAR Toolkit (MacGaughey, 2014).

A pesar de que el procesamiento se lleva a cabo con herramientas ejecutadas en MS-DOS/símbolo del sistema, es posible y recomendable ir visualizando, a medida que se van creando, los archivos resultantes con el programa FUSION/LDV que permite visualizar tanto las nubes de puntos de un archivo LiDAR como los MDT y MDV. Para visualizar los datos LiDAR con dicho programa primero hay que introducir una imagen de referencia que en el caso de no tener puede ser creada con el propio programa (Figura 7).

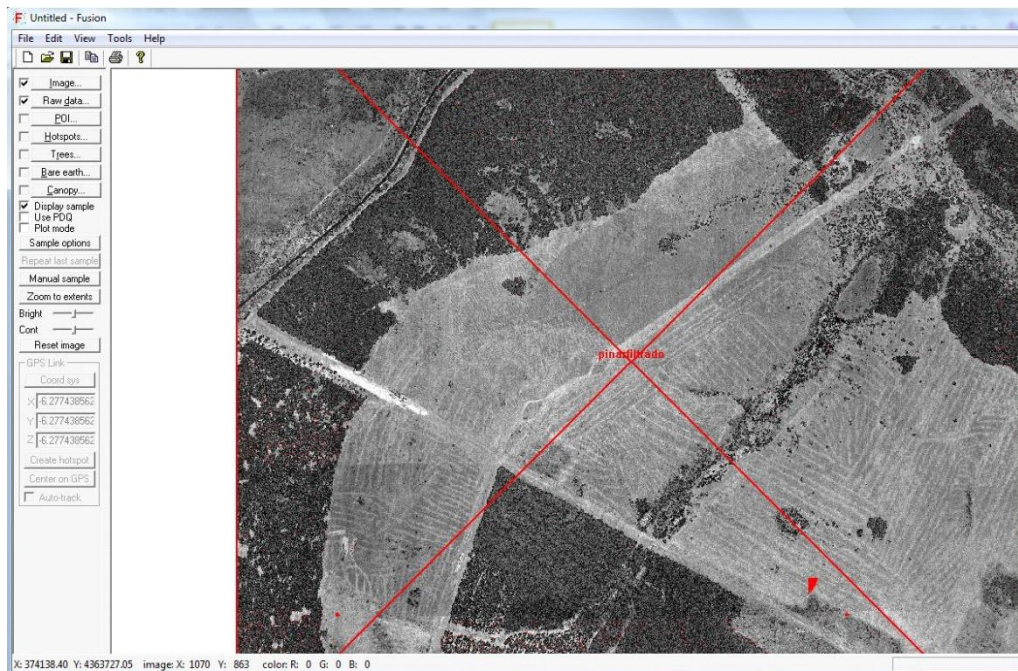


Figura 7: Imagen de referencia de Las Llanas.

Procedimiento seguido para procesar los datos LiDAR:

1. El primer paso será analizar las hojas LiDAR con FUSION que dará como resultado un archivo HTML con información acerca de cada una de las hojas analizadas. Además de las coordenadas, se generan elevaciones máximas y mínimas y densidad de puntos de cada una de las hojas. También incluye un resumen general del número de retornos correspondientes al suelo, a cada tipo de vegetación (alta, media o baja), los pertenecientes a edificios y el número de valores atípicos.

En este primer análisis de los datos se incluyen varios parámetros que darán como resultado varias imágenes que nos dan información de la posible existencia de valores atípicos de elevación en alguna de las hojas y de la densidad de primeros retornos.

2. El segundo paso será filtrar los puntos del conjunto de hojas LiDAR utilizando las herramientas de filtrado de FUSION que filtran la nube de puntos para eliminar tanto los valores atípicos como los puntos pertenecientes a agua y edificios.

El resultado es un único archivo LAS que unifica todas las hojas a procesar y que será el archivo a utilizar durante el resto del procedimiento. Este archivo se analiza de nuevo para ver si se han eliminado la mayoría de los valores atípicos y no ha habido pérdida de información relevante.

3. A continuación hay que crear un MDT. Para ello se usan de nuevo las herramientas de filtrado identificando los retornos pertenecientes al suelo. Si bien no se realiza un filtrado perfecto sus resultados sí que son suficientes para los cálculos en los que dicho MDT va a ser utilizado.

Una vez se tiene una nube con los puntos del terreno esta se utiliza para crear el MDT en formato DTM.

4. Una vez se tiene el MDT ya se pueden obtener las variables buscadas de la zona de estudio en nuestro caso la altura de la vegetación y la FCC.

Con los datos filtrados en el segundo paso y el MDT se obtiene también mediante las herramientas de fusión una capa con la altura de la vegetación.

Es posible también, sin utilizar el MDT, crear un MDV en formato TIN aunque en nuestro caso no será utilizado.

Para obtener la FCC hay que indicar la altura de la vegetación a partir de la cual queremos que se compute, en nuestro caso indicamos cuatro metros por ser el valor límite en la clave Prometheus.

Estas dos nuevas capas nos darán información de la altura de la vegetación y de la FCC en cada pixel una vez sean convertidas a raster en el paso 5.

5. El último paso a realizar con el programa FUSION será la conversión de datos con las herramientas de conversión a un formato que más tarde pueda ser importado a ArcGIS donde se continuará con el análisis.

Posteriormente se importan los ASCII creados a ArcGIS en donde se procesaran para crear finalmente el mapa de combustibles.

3.1.2.2 Integración de variables con el mapa de vegetación para crear la cartografía de combustibles

El primer paso una vez se tienen las capas de altura de la vegetación de fracción de cabida cubierta y el modelo digital del terreno creadas en formato ASCII será convertirlas con ArcGIS a formato raster para poder trabajar con ellas. Los raster resultantes tienen las siguientes características (Tabla 7).

Tabla 7: Características de los raster resultantes.

Capa	Referencia espacial	Tamaño pixel
MDT	ETRS_1989_UTM_zone_30N	2
Altura vegetación	ETRS_1989_UTM_zone_30N	2
FCC	ETRS_1989_UTM_zone_30N	15

Tras un primer intento utilizando únicamente estas capas LiDAR reclasificadas y el mapa de vegetación para obtener el mapa de modelos de combustible, se vio que solo con esos datos no era posible evaluar el porcentaje de matorral y la continuidad vertical del dosel. Que como se muestra en la Tabla 8, es lo que permite diferenciar entre los modelos de combustible correspondientes a zonas arboladas.

Tabla 8: Modelos de combustible 5, 6, 7.

Modelo	% matorral	Continuidad dosel
Modelo 5	<30% matorral	-
Modelo 6	>30% matorral	>50 cm de diferencia altura
Modelo 7	>30% matorral	<50 cm dif altura

Como criterio para diferenciar el modelo 5 se consideró, pese a las posibles limitaciones, el uso de la FCC (como se explica más adelante). Sin embargo no era posible diferenciar entre los modelos 6 y 7 con la información con que se

contaba en ese momento, por lo que se trató de solventar de la siguiente manera:

1. Procesando de nuevo las hojas LiDAR en bruto para obtener dos nuevas capas con la altura de la vegetación, una con los datos filtrados únicamente del matorral (Clases 3,4 Low y médium vegetation) y otra con los datos filtrados del arbolado (Clase 5 High vegetation).
2. Una vez obtenidas, con ArcGIS se restaron ambas capas y se reclasificaron en $>0,5\text{m}$ y $<0,5\text{m}$ de diferencia de altura entre arbolado y matorral. Una vez cruzado con el mapa de vegetación dio como resultado que en todas las teselas de la capa de vegetación de cabañeros no existía continuidad entre el matorral y el dosel de copas.

El resultado obtenido con el anterior procedimiento no se ajusta a la realidad ya que el modelo de combustibles siete sí que está presente dentro del Parque Nacional, si bien esto puede deberse a la poca densidad de puntos de los datos LiDAR del IGN que hace que no exista suficiente información de la vegetación presente bajo el dosel de copas. Es posible que, utilizando datos LiDAR con una mayor densidad de puntos, este procedimiento pueda ser válido, pero al no ser el caso hubo que buscar otra solución.

Para solventar el problema finalmente se decidió, tener en cuenta la pendiente como criterio para diferenciar entre los modelos seis y siete como más adelante se detalla.

Para crear el mapa de combustibles se decidió tras varias pruebas, seguir la siguiente metodología: (Esquema pag.61)

1. Primero reclasificar tanto la capa de FCC como la capa de altura de la vegetación, obtenidas a partir de los datos LiDAR.
 - FCC: en dos clases 0-80%/80-100% (Tabla 11).
 - Altura de la vegetación: Cinco clases correspondientes a los límites de altura entre los modelos de combustibles en la clave Prometheus (Tabla 10).
2. Reclasificar el mapa de pendientes, obtenido a partir del modelo digital de terreno del IGN, en cuatro clases. Se podría haber utilizado

el MDT creado con FUSION pero por considerarlo más fiable se decidió usar el del IGN.

3. Cruzar las capas reclasificadas con las teselas de mapa de vegetación con las herramientas estadísticas de ArcGIS utilizando el estadístico majority (moda) obteniendo dos capas raster con la clase de altura vegetación en cada tesela y la clase de FCC.
4. Convertir a raster el mapa de vegetación y combinarlo con las tres capas reclasificadas. Como resultado se obtiene una capa raster con 593 filas de valores correspondientes a las diferentes combinaciones de los cuatro mapas.

Asignación final:

Cada una de estas 593 combinaciones tiene que ser asignada a un modelo de combustible desde la tabla de atributos utilizando la selección por atributos teniendo en cuenta las clases del mapa de vegetación y las tres capas reclasificadas durante el procesado.

-Tipo de vegetación: nos da información de la vegetación presente en cada pixel de utilidad para asignar los modelos de combustibles a cada combinación. En la Tabla 9 se puede observar la descripción de los 35 tipos de vegetación presentes en Cabañeros.

Tabla 9: Descripción de la capa de vegetación de Cabañeros

Attributes of tselasraster_vat_TSN_Vegetal	
tselasraster.vat:Rowid	TSM Vegetal.Descripcion *
0	Quejigares mesomediterráneos luso-extremadurenses de Q. faginea subsp. broteroi
1	Encinares y carrascales interiores silicícolas carpetano-leoneses, ibéricos-meridionales y luso-extremadurenses
2	Alcornocales luso-extremadurenses
3	Encinar-alcornocal
4	Pinares de pino negral o resinero (P. pinaster) sobre rodenales, arenales continentales y calcoarenitas dolomíticas
5	Melojares subtermófilos oretanos, de Sierra Morena y las Béticas, con madroños, serbales, arces, quejigos y alcornocales
6	Brezales enanos de Halimium ocymoides y Erica umbellata (quirolares)
7	Vegetación ligada a pedregales o gleras móviles
8	Fresnedas mediterráneas
9	Brezales negros con jara macho
10	Zarzales termófilos luso-extremadurenses con brezo de escobas y madresevas
11	Dehesas de encina
12	Madroñales con olivillas, aladiernos y brezos (Erica australis, E. scoparia, E. arborea). Formaciones tipo "maquis" o "mancha" arbustivas
13	Pinares de pino piñonero (P. pinea) sobre batolitos graníticos, arenales interiores y dunas litorales
14	Jarales luso-extremadurenses dominados por jara pingosa con o sin Genista hirsuta y Lavandula pedunculata
15	Pastos terofíticos
16	Choperas de Populus canadensis
17	Dehesas de alcornoque
18	Agua
19	Abedulares meridionales relictuales riparios (Cabañeros, Sª de Río Frio, Alayos de Dilar)
20	Dehesas de encina y alcornoque
21	Pastos terofíticos nitrificados
22	Pastizales de diente (Molinio-Arrhenatheretea, Cynosurion cristati)
23	Comunidades de grietas o fisuras de cantiles o riscos silíceos
24	Vallicares (Agrostis spp.)
25	Saucedas de Salix atrocinerea y/o Salix salviifolia
26	Cultivos
27	Vegetación acuática e higrófila de lagunas y charcas estacionales o temporales
28	Brezales higroturbosos (Erica tetralix, E. mackaiana, E. ciliaris)
29	Praderas juncuales mediterráneas no salinas
30	Cortafuegos
31	Tamujares (Flueggea tinctoria)
32	Zonas edificadas
33	Infraestructura de viales
34	Loreras (Prunus lusitánica)

-Altura de la vegetación (5 clases): utilizada para diferenciar entre los modelos de matorral y de pastizal.

Tabla 10: Reclasificación de la capa de altura de la vegetación.

Clase	Altura	Modelos
Clase 1	0-0,3m	Modelo 1
Clase 2	0,3-0,6m	Modelo 2
Clase 3	0,6-2m	Modelo 3
Clase 4	2-4m	Modelo 4
Clase 5	>4m (>50% FCC)	Modelos 5,6,7

-FCC (2 clases): utilizada para diferenciar entre el modelo 5 y los modelos 6 y 7. Tomando un límite de FCC del 80% para que exista menos de un 30% de matorral bajo cubierta, diferencia principal entre el modelo 5 y los siguientes.

Tabla 11: Reclasificación capa de FCC.

Clase	FCC	Modelos
Clase 1	0-80%	Modelos 6, 7
Clase 2	80-100%	Modelo 5

-Pendientes (4 clases): se introdujo para tratar de solventar los problemas encontrados para discernir entre los modelos 6 y 7 cuya diferencia principal es la continuidad o no del matorral bajo cubierta y las copas.

Se asumió que en las zonas con más pendiente, y ante la presencia de matorral y arbolado, se podría considerar un modelo de combustible 7 y en las zonas de menor pendiente el modelo de combustibles 6. Este criterio se apoya en que la pendiente es el factor topográfico de mayor importancia en la velocidad de propagación del fuego. Las fuertes pendientes favorecen la continuidad horizontal y vertical de los combustibles, por lo tanto influye fuertemente en la combustibilidad de la vegetación. La principal diferencia intrínseca entre los modelos 6 y 7 de Prometheus es la continuidad vertical de los combustibles, para evaluar la facilidad con que un posible incendio puede transformarse en un incendio de copas.

Por todo ello, tras el fallo de los otros métodos aplicados, de manera complementaria a la asignación de modelos a partir de imágenes LiDAR se ha

decidido combinar la pendiente como criterio clasificador entre los modelos seis y siete.

Tabla 12: Reclasificación de la pendiente.

Clases	Pendiente	Modelos
Clase 1	0-5%	Modelo 6
Clase 2	5-15%	Modelo 6
Clase 3	15-35%	Modelo 6
Clase 4	>35%	Modelo 7

A continuación, en la Tabla 13 se presentan varios ejemplos de asignación de modelos de combustible a partir de los anteriores cuatro criterios. En ArcGIS la asignación de un modelo a cada punto del territorio se realiza manualmente en la capa, en formato raster, en la que se han unido los cuatro criterios clasificadores utilizando la selección por atributos.

Tabla 13: Ejemplo de asignación.

Ejemplo	Vegetación	C.Altura	C.FCC	C.Pendiente	Modelo
1	1	5	1	3	6
2	4	5	1	4	7
3	1	5	2	2	5
4	1	3	1	3	3

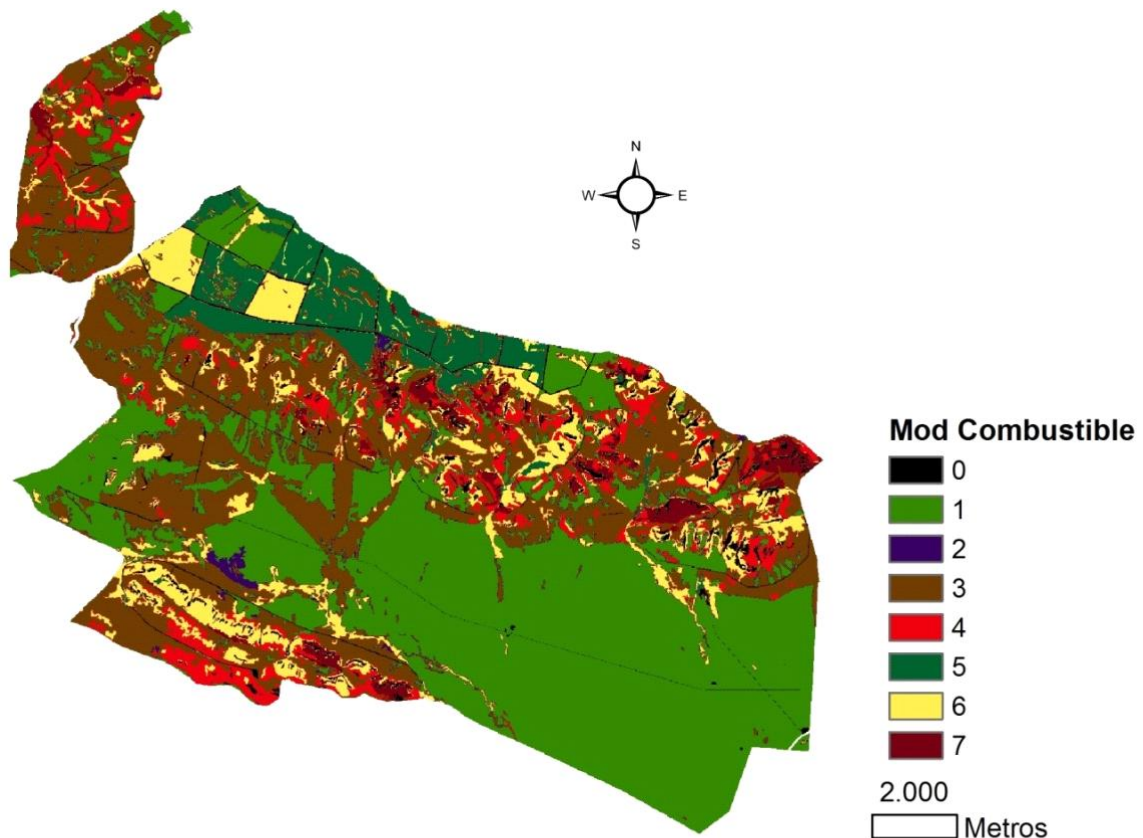
Entre los ejemplos 1 y 2 la principal diferencia, además de la vegetación presente (en uno encinar y en otro pinar) es la pendiente que ha permitido diferenciar entre los modelos 6 y 7. A su vez en el tercer ejemplo el criterio diferenciador de los dos anteriores es, además de la pendiente la FCC de más del 80%, por lo que se le asigna un modelo 5.

Por último el cuarto ejemplo el principal criterio para asignarle un modelo de combustible 3 a todos los píxeles con esos cuatro criterios es la clase altura que se corresponde con el modelo de combustible tres.

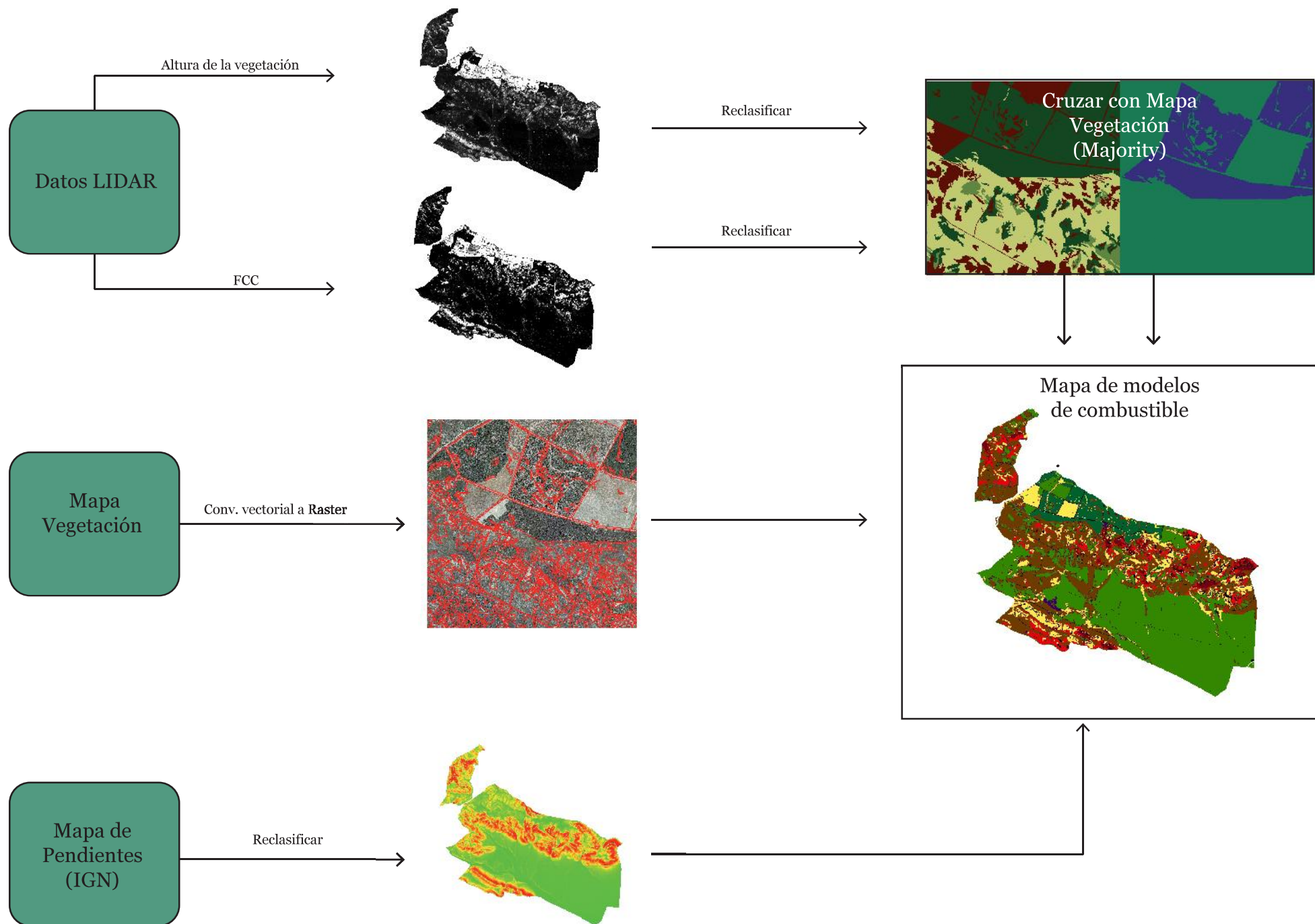
Las otras 593 asignaciones se pueden encontrar en el Anexo 2.

Hay que aclarar que a las zonas de pedregales de las cumbres y los cortafuegos con suelo mineral, así como la clase de vegetación correspondiente a edificios y agua se les ha asignado modelo de combustible cero.

Como resultado final se obtiene el siguiente mapa de modelos de combustible (Mapa 3) que será usado para crear el mapa de peligrosidad del medio y para obtener la accesibilidad a todo el territorio como se muestra más adelante.



Mapa 3: Mapa de modelos de combustible.



3.1.2.3 Resultados y discusión del mapa de combustibles

A continuación se realiza un análisis de la presencia de cada uno de los modelos de combustible en el mapa obtenido:

- Modelo de combustible 1: Se encuentra fundamentalmente en las zonas llanas entre sierras que se corresponden con las rañas. También se puede encontrar en la zona de Las Llanas, donde corresponde a aquellos cantones de pinar que fueron cortados a hecho en el año 2009 y que todavía no han comenzado o está en sus primeras fases la regeneración de la vegetación autóctona.

En las zonas de sierra también aparece ocasionalmente este modelo de combustible, esto puede deberse a la presencia de teselas de brezales enanos, jarales o zarzales que o bien tienen una altura menor de 0,3 metros o bien se han asignado debido a los problemas anteriormente reseñados debido la poca densidad de puntos y a los errores del LiDAR en zonas con mayor pendiente.

- Modelo de combustible 2: Según el mapa obtenido el modelo de combustible 2 apenas está presente en la zona de estudio, más que en zonas basales de la sierra sur, y disperso por algún otro punto pero de poca extensión.

Esto puede deberse a la fiabilidad de los datos LiDAR y su confusión con el modelo 1, o bien como se verá más adelante comparándolo con mapas obtenidos anteriormente, a que el modelo 2 no esté muy representado en Cabañeros más que en aquellas zonas donde el suelo no está muy desarrollado.

- Modelo de combustible 3: Es el modelo de combustible más representado en la zona de estudio aparte del modelo 1, presente en amplias zonas de las sierras donde debido a las especiales características de la zona expuestas en la introducción y a las fuertes pendientes en algunos casos, no se ha producido el desarrollo de una masa arbórea.

- Modelo de combustible 4: Al igual que el anterior modelo, solo se encuentra en las zonas de sierra y es de suponer que aparece en aquellos puntos donde existe una mayor disponibilidad de nutrientes y menor pendiente que en las zonas donde se da el modelo 3.

- Modelo de combustible 5: Se encuentra representado según el mapa obtenido únicamente en la zona de Las Llanas, en aquellos cantones de pinar que no han sido clareados y no se ha producido un desarrollo de la capa arbustiva.
- Modelo de combustible 6: Este modelo de combustible se puede encontrar tanto en los cantones de pinar en los que se han realizado las primeras claras y se ha permitido el paso de luz suficiente para el desarrollo del sotobosque, como en zonas de la sierra donde por sus características si se ha podido producir el desarrollo de una masa arbórea.
- Modelo de combustible 7: El modelo de combustible 7 ha sido el más difícil de discernir, es de suponer que se encuentra en aquellas zonas arboladas con menor fracción de cabida cubierta en donde sí que se ha producido un desarrollo importante del matorral bajo cubierta debido al mayor paso de luz.

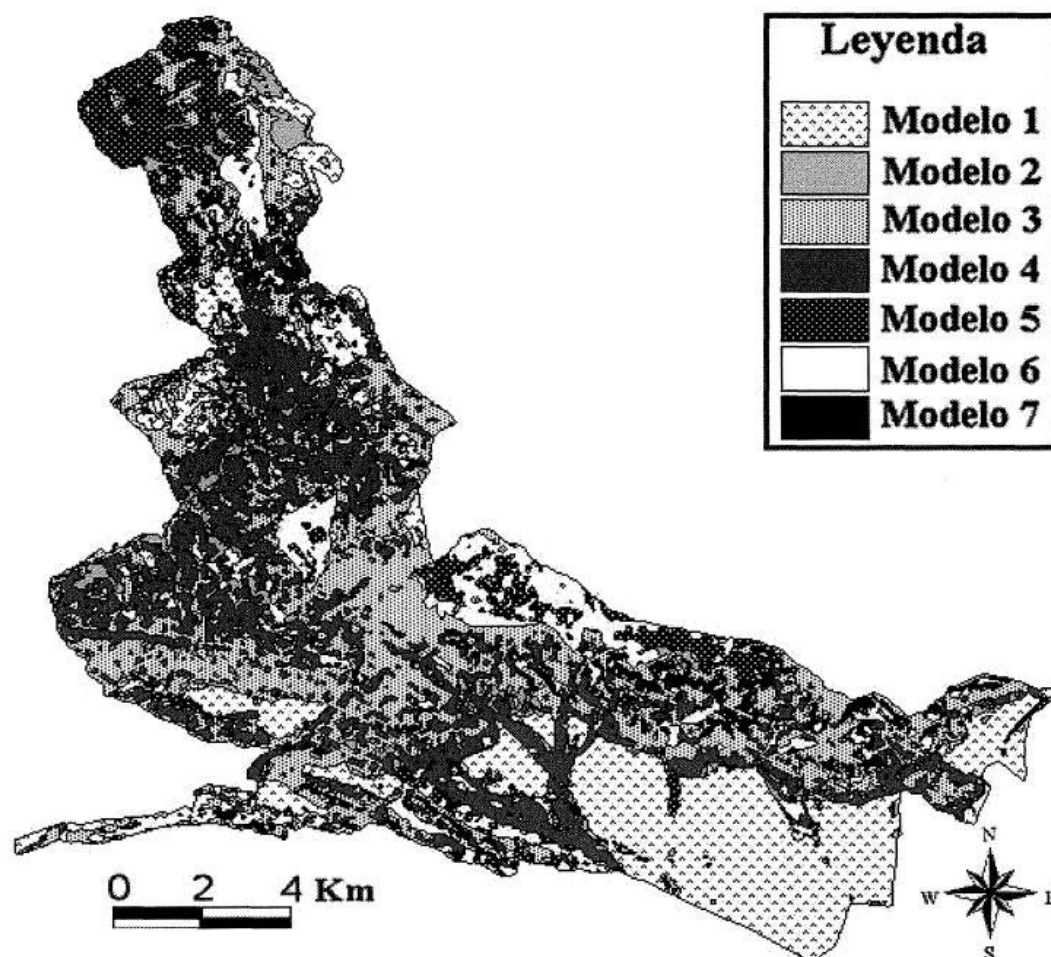
Estos resultados podrían ser validados mediante un muestreo en campo para obtener la fiabilidad del mapa de combustibles obtenido, o bien incluso haber realizado un el muestreo desde el comienzo y haber realizado la cartografía de modelos de combustible de la zona de estudio mediante una clasificación supervisada. Dado que no era el principal objeto del presente proyecto de fin de carrera y por falta de medios, estos muestreos dentro de la zona de estudio no han podido ser realizados, teniendo que suponer su fiabilidad para la utilización en los próximos apartados, si bien sí que se pueden comparar los resultados con anteriores cartografías de la zona de estudio.

Existe, como se reseñó en el anterior apartado, un mapa de modelos de combustible obtenido con teledetección, en este caso imágenes de satélite Landsat-TM, del año 2001 (Riaño, y otros, 2001) que dio como resultado el siguiente mapa de todo el Parque Nacional de Cabañeros incluyendo toda nuestra zona de estudio (Mapa 4).

Si bien dado el gran intervalo de tiempo entre uno y otro mapa, los resultados sí que presentan coherencia. Las principales diferencias que se pueden encontrar entre ambos mapas están entre los modelos 3 y 4 en las zonas de mayor pendiente y el 5 y el 6 en la zona de las Llanas. En cuanto al modelo de combustible 7 parece que sí ha sido asignado en los mismos lugares en ambos mapas, en las zonas altas de las sierras donde la pendiente propicia la aparición de este modelo.

Estas diferencias según las conclusiones de los autores del anterior mapa y la experiencia adquirida durante el desarrollo de este mapa de modelos de combustible pueden deberse a errores cometidos debido a la falta de precisión en la obtención de la altura de la vegetación y la posible presencia de matorral bajo cubierta.

Podría valorarse la combinación de ambos métodos para la obtención de una cartografía de combustibles y estudiar la fiabilidad de este nuevo método, pero ese ya tendría que ser objeto de otro estudio, y de aquí en adelante se usará el mapa obtenido para los análisis suponiéndolo suficientemente fiable.



Mapa 4: Mapa de modelos de combustible obtenido a partir de imágenes de satélite. Fuente (Riaño, y otros, 2001)

3.1.3 Creación del mapa de peligrosidad del medio

Una vez que se tiene el mapa de combustibles ya se puede integrar toda la información para la creación de un mapa de peligrosidad de medio. Al tratarse de una zona tan reducida y homogénea en cuanto a restricciones de paso y tratamientos se refiere, no se ha visto necesario realizar un estudio del riesgo estadístico y su final integración en un mapa de riesgo potencial de incendios.

En nuestro caso es suficiente un mapa de peligrosidad del medio que nos servirá de base para más tarde identificar las zonas de mayor peligro en caso de producirse un incendio.

Se van a integrar las variables de pendiente, clima y modelos de combustibles asignando a cada una de ellas un coeficiente de riesgo.

Para la integración de la información se va a usar un criterio cualitativo. Los coeficientes a usar dentro de estos criterios han de ser ponderados correctamente por lo que se van a usar los coeficientes de riesgo correspondientes al trabajo antes citado (Copete, y otros, 2007) por considerar que es el que mejor se ajusta a las características de la zona.

El índice de peligrosidad del medio (P_m) será el resultado de:

$$P_m = P_{cb} * P_f * P_{cl}$$

- P_{cb} = coef peligrosidad combustibles

- P_f =coef de peligrosidad de la fisiografía

- P_{cl} =coef de peligrosidad del clima

- Peligrosidad combustibles:

La combustibilidad como antes se ha comentado puede definirse como la capacidad del sistema forestal en que se integra para arder y desprender energía suficiente para provocar la inflamación de la vegetación adyacente, extendiendo el fuego.

La peligrosidad de cada combustible presente en el medio se tendrá en cuenta con el mapa de modelos de combustible creado previamente.

En el mapa de peligrosidad del medio de Castilla-La Mancha (Copete, y otros, 2007) se utilizaban los modelos de combustible americanos, si bien nuestro mapa de combustibles está hecho con los modelos de combustibles de Prometheus por lo que habrá que realizar la siguiente reclasificación para poder utilizar los mismos coeficientes de riesgo (Tabla 14).

El modelo de combustible 1 de Prometheus presente principalmente en las zonas bajas de la raña se decidió asignarlo al modelo tres de Rothermel ya que durante la época de mayor peligro de incendios se trata de pastos altos.

Para reclasificar los modelos 5 y 6 podría haber confusión entre los modelos 8, 9 y 10 de Rothermel pero ya que el coeficiente de riesgo para esos tres es el mismo en este caso no hay problema como se puede observar en la Tabla 14.

Tabla 14: Reclasificación a los modelos de combustibles de Rothermel.

Prometheus	Rothermel	Coef Riesgo
1	3	8
2	6	9
3	5	6
4	4	10
5	8,9,10	5
6	8,9,10	5
7	7	8

Tabla 15. Coeficiente de riesgo de cada modelo de combustible.

Peligrosidad	Grupo	Modelo de combustible	Coeficiente de riesgo
Extrema	Matorral	4	10
Grave	Matorral	6	9
Alta	Matorral	7	8
Alta	Pastos	3	8
Moderada	Pastos	1	7
Moderada	Pastos	2	7
Baja	Matorral	5	6
Muy baja	Hojarasca	8	5
Muy baja	Hojarasca	9	5
Muy baja	Hojarasca	10	5

- Peligrosidad del clima:

La peligrosidad del clima se estudia según el sistema Fito climático desarrollado por Allué Andrade, asignando un coeficiente de riesgo en función de los factores de riesgo de cada subregión fitoclimática.

Las tres subregiones fitoclimáticas presentes en Cabañeros presentan el mismo coeficiente de peligro (9). Por lo tanto no es un criterio discriminante del territorio, si bien sí que se va a mantener en la fórmula de peligrosidad del medio para poder ajustarse a los rangos de valores del anterior estudio (Copete, y otros, 2007).

- Peligrosidad de la fisiografía:

En dicho estudio se utilizan cuatro clases, que son las mismas que las usadas en la creación del mapa de combustibles como se puede observar en la Tabla 16 por lo que no fue necesario reclasificar la capa de pendientes. A cada clase se le asigna un coeficiente de riesgo.

Tabla 16: Asignación de un coeficiente de riesgo a cada clase de pendiente.

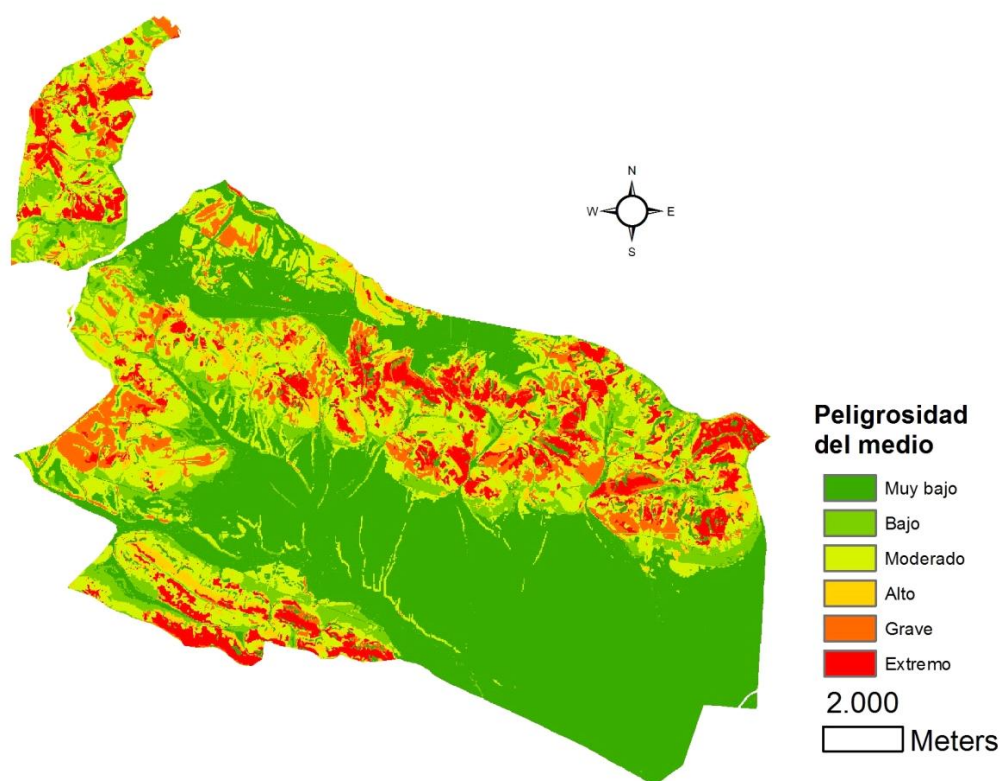
Clase	Pendiente	Coeficiente de riesgo
1	0-5%	3
2	5-15%	5
3	15-35%	8
4	>35%	10

Una vez creados los tres mapas de peligrosidad se crea una nueva capa a partir de esas tres, resultado de multiplicarlas. Nos da como resultado una capa raster con el valor de peligrosidad de cada pixel.

Finalmente este último mapa se reclasifica según los rangos de valores de la Tabla 17 dándonos la peligrosidad del medio para cada zona desde un índice muy bajo a extremo.

Tabla 17: Índice de peligrosidad del medio.

Índice Pm	Rango valores	Indicador
Muy bajo	90-250	1
Bajo	250-336	2
Moderado	336-432	3
Alto	432-540	4
Grave	540-648	5
Extremo	648-1000	6



Mapa 5 : Mapa de peligrosidad del medio.

Este mapa de peligrosidad del medio reclasificado en seis clases (Mapa 5) será el que utilizaremos más adelante para asignar las zonas de mayor peligro y realizar el análisis de accesibilidad del Parque Nacional de Cabañeros.

3.1.3.1 Resultados y discusión mapa de peligrosidad del medio

Según el mapa de riesgos obtenido, casi la mitad de la superficie de la zona de estudio presenta una peligrosidad muy baja, correspondiente principalmente a las Rañas y parte del pinar de Las Llanas. Otro 8% del territorio tiene una peligrosidad baja, por lo tanto se puede considerar como de peligrosidad baja a aproximadamente un 60% de la zona de estudio.

Otro 25% presenta una peligrosidad moderada en el caso de producirse un incendio forestal, encontrándose estas zonas fundamentalmente en las partes basales de las sierras con menor pendiente que las zonas altas.

Las zonas de peligrosidad alta y muy alta ocupan un 11% de la zona de estudio, en zonas de mayor pendiente y teniendo modelos de combustible con mayor coeficiente de riesgo.

Un 8% de la superficie estudiada presenta una peligrosidad extrema, correspondiéndose con las zonas altas de las sierras donde existen fuertes pendientes y donde también se dan los modelos de combustible con mayor coeficiente de riesgo.

Son estas zonas de peligrosidad extrema las que se tendrán más tarde en cuenta para realizar diversos análisis de accesibilidad de los medios terrestres, no solo por su especial peligrosidad sino también por el hecho de que se encuentran generalmente rodeadas de forma concéntrica por zonas de peligrosidad alta y moderada lo que nos permitirá simplificar los análisis a estas zonas.

Por los resultados obtenidos se puede observar la fuerte relación entre la pendiente y los modelos de combustible que se dan en cada zona y a su vez la relación de estos dos factores con la peligrosidad del medio.

3.2 Análisis de accesibilidad

El siguiente análisis de accesibilidad tiene como primer objetivo obtener con varios métodos de análisis el tiempo de llegada de los medios de extinción a cualquier punto del territorio. Este tiempo de llegada es un parámetro fundamental para evaluar la gravedad potencial de un posible incendio forestal.

En primer lugar se utiliza un método clásico como es la cartografía de isócronas mediante análisis raster, que se ha revelado de utilidad para estudiar el tiempo de llegada en todo el territorio en el ámbito de la prevención, para optimizar los recursos contra incendios.

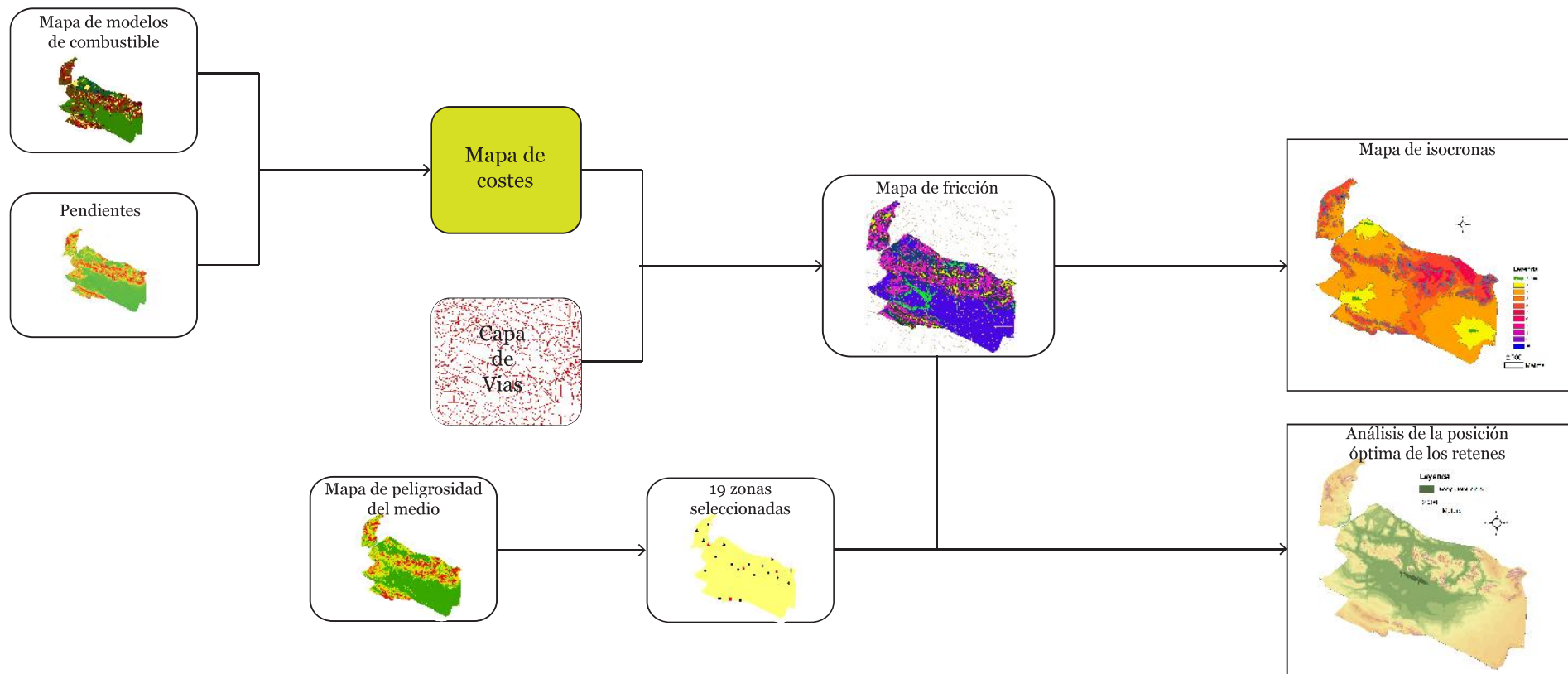
Más adelante se estudia la posibilidad de aplicar los análisis de vías en los planes de defensa contra incendios, que aparte de ser de utilidad en la prevención como los métodos clásicos también pueden ser usados en tiempo real en la extinción. Si bien durante las pruebas realizadas se han encontrado ciertas debilidades en tanto en cuanto con estos análisis solo se obtiene el tiempo de llegada por las vías sin tener en cuenta el desplazamiento por el terreno hasta el incendio (muy significativo en muchos casos).

Es por ello que finalmente se combinan ambos métodos de modo que se pueda obtener el tiempo total de llegada (tiempo de circulación por las vías más tiempo de desplazamiento a través del terreno hasta llegar al incendio) a cualquier punto del territorio y puedan ser integrados estos análisis de vías de modo fiable en los planes de defensa.

A continuación se presenta un esquema que esperamos que sea de utilidad para la comprensión de los desarrollos seguidos (Esquema pag.70)

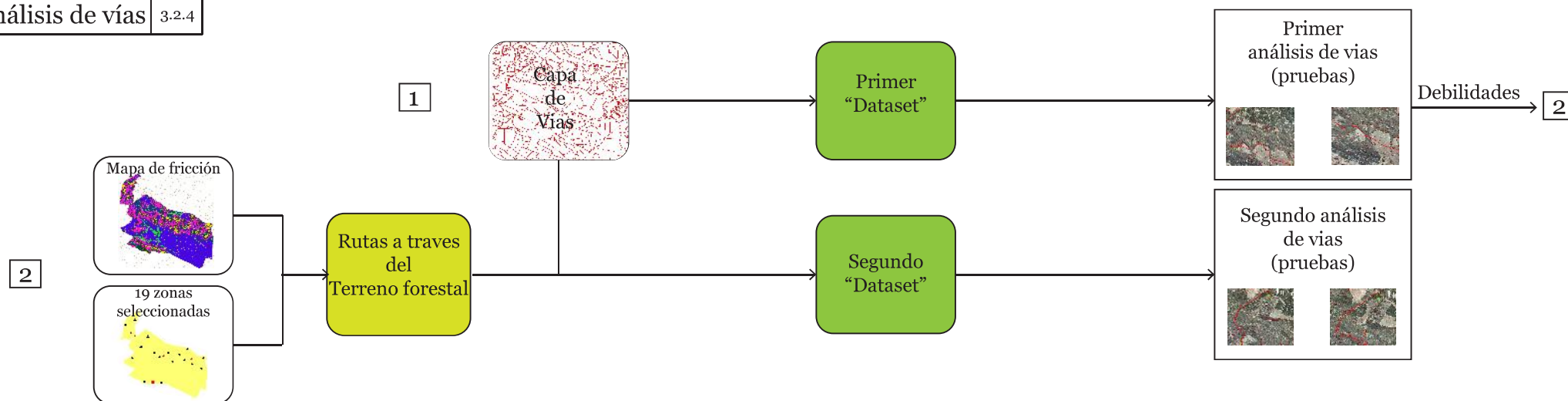
Análisis raster

3.2.2
3.2.3



Análisis de vías

3.2.4



3.2.1 Datos y programas utilizados

Datos:

- Modelos de combustibles: La capa creada previamente de modelos de combustible nos va a servir durante el análisis de accesibilidad para asignar velocidades de desplazamiento y penetrabilidad fuera de las vías de la zona de estudio.
- Capa de viales: Este análisis no sería posible sin la capa de viales proporcionada por los técnicos del Parque Nacional de Cabañeros, ya que en aquellos lugares donde los viales no se encuentren digitalizados habría que realizar un inventario muy costoso. Durante la realización del presente proyecto la capa proporcionada estaba siendo actualizada por problemas en la proyección por lo que hubo que adecuarla y corregirla para poder realizar nuestro análisis.
- Capa de Pendientes: La capa de pendiente obtenida a partir del MDT del IGN con un paso de malla de cinco metros ha sido de nuevo reclasificada para adecuarse a las nuevas especificaciones incluidas en este análisis.

Programas:

- ArcGIS© 9.3: Durante todo el análisis de accesibilidad para realizar una evaluación multicriterio y para realizar el análisis de redes. Incluida la creación de un “dataset de red”².

3.2.2 Mapa de isócronas

Los mapas de isócronas son los mapas que tradicionalmente se venían utilizando para estudiar la accesibilidad de un territorio para luchar contra un incendio forestal.

² Estructura de base de datos necesaria para poder realizar análisis de redes (caminos de coste mínimo) en un SIG.

Para hacer el mapa de isócronas partimos de la cartografía de modelos de combustible, reclasificada en los modelos de Rothermel, y la capa de pendientes. Estos dos mapas se combinan, dando como resultado 31 clases de terreno, a las que hay que asignar una velocidad de desplazamiento y penetrabilidad, según la Tabla 18.

Tabla 18: Velocidad de desplazamiento y penetrabilidad en función de los modelos de combustible presentes, siendo D (Desplazamiento) y P (Penetrabilidad) Fuente (Govern De Les Illes Balears, 2001)

Modelo	Pendiente							
	0-3%		3-12%		12-35%		>35%	
	D	P	D	P	D	P	D	P
1	10 km/h	4 km/h	10 km/h	3 km/h	10 km/h	2 km/h	0 km/h	1 km/h
2	10 km/h	4 km/h	10 km/h	3 km/h	10 km/h	2 km/h	0 km/h	1 km/h
3	0 km/h	3 km/h	0 km/h	2 km/h	0 km/h	1 km/h	0 km/h	1 km/h
4	0 km/h	2 km/h	0 km/h	1 km/h	0 km/h	1 km/h	0 km/h	25 m/h
5	10 km/h	4 km/h	10 km/h	3 km/h	10 km/h	2 km/h	0 km/h	1 km/h
6	0 km/h	3 km/h	0 km/h	2 km/h	0 km/h	1 km/h	0 km/h	25 m/h
7	0 km/h	3 km/h	0 km/h	2 km/h	0 km/h	1 km/h	0 km/h	25 m/h
8	0 km/h	4 km/h	0 km/h	3 km/h	0 km/h	2 km/h	0 km/h	1 km/h
9	0 km/h	4 km/h	0 km/h	3 km/h	0 km/h	2 km/h	0 km/h	1 km/h

Una vez asignadas unas velocidades de desplazamiento y penetrabilidad hay que reclasificar nuevamente la capa para asignar un coste de desplazamiento a cada pixel de cada una de las capas como se puede ver en la Tabla 19. El coste se calcula como el tiempo en minutos que se tarda en recorrer una unidad de superficie, en este caso el metro.

Los costes se han multiplicado por 10000 para evitar decimales, y más adelante, al final del análisis se dividirán. Es por ello que los valores de la capa de fricción aparecen en minutos por cada diez kilómetros.

Ej:

$$\frac{1 \text{ hora}}{10 \text{ km}} = \frac{60 \text{ min}}{10000 \text{ m}} = \frac{0,006 \text{ min}}{1 \text{ m}} = \frac{60 \text{ min}}{10 \text{ km}}$$

Tabla 19: Asignación de tiempos.

Rowid	VALUE	COUNT	MODCOMB	PENDIENTE	VELOCIDAD KM H	TIEMPOS
12	13	1577	0	0 - 3	10	60
8	9	4106	0	3 - 12	10	60
7	8	8002	0	12 - 35	10	60
21	22	4064	0	> 35	1	600
9	10	213042	1	0 - 3	10	60
1	2	67428	1	3 - 12	10	60
0	1	48154	1	12 - 35	10	60
10	11	3181	1	> 35	1	600
16	17	3131	2	0 - 3	3	200
2	3	7279	2	3 - 12	2	300
6	7	8994	2	12 - 35	1	600

Otra capa necesaria será la capa de vías, que previamente habrá que convertir a raster asignando velocidades de desplazamiento en función del tipo de vial y asignando un coste de desplazamiento a cada vía como en el caso anterior (Figura 8).

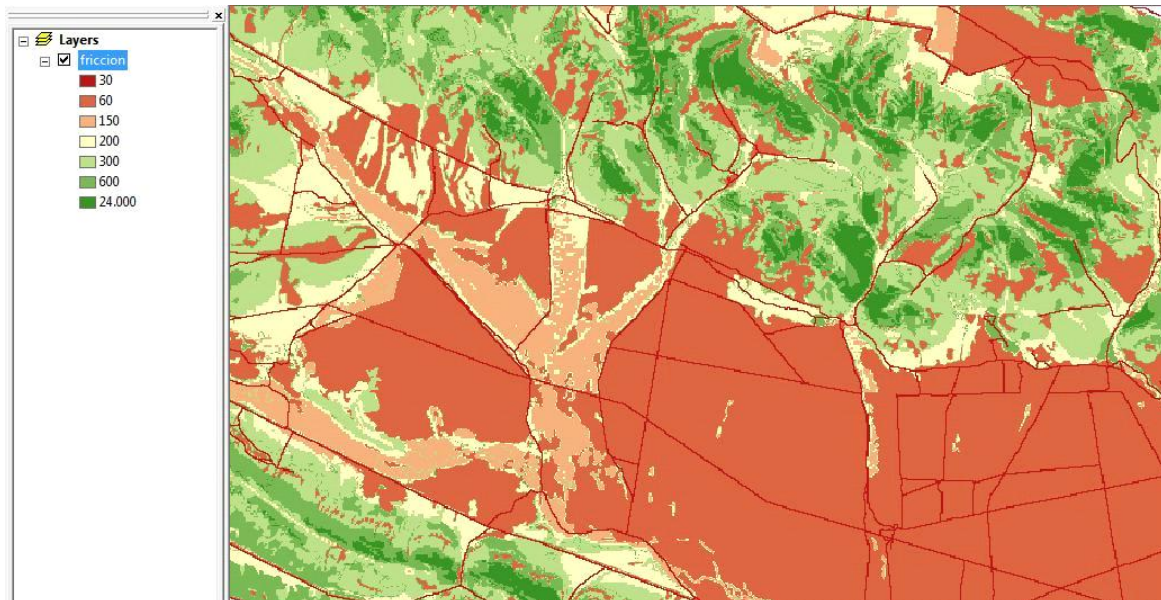


Figura 8: Detalle del mapa de fricción, donde se observan las vías forestales.

El siguiente paso, una vez tenemos las capas reclasificadas, será crear una capa de fricción, superponiendo la capa de vías en formato raster con la combinación de las capas de pendientes y modelos de combustible. Estas dos capas han de superponerse pero sin sumarse de modo que solo se tome el coste de desplazamiento de la capa de desplazamiento por el terreno en el caso de no existir ni pistas ni carreteras, ya que su coste de desplazamiento es mayor.

Este mapa de fricción nos servirá durante los siguientes puntos del proyecto para llevar a cabo el análisis de accesibilidad.

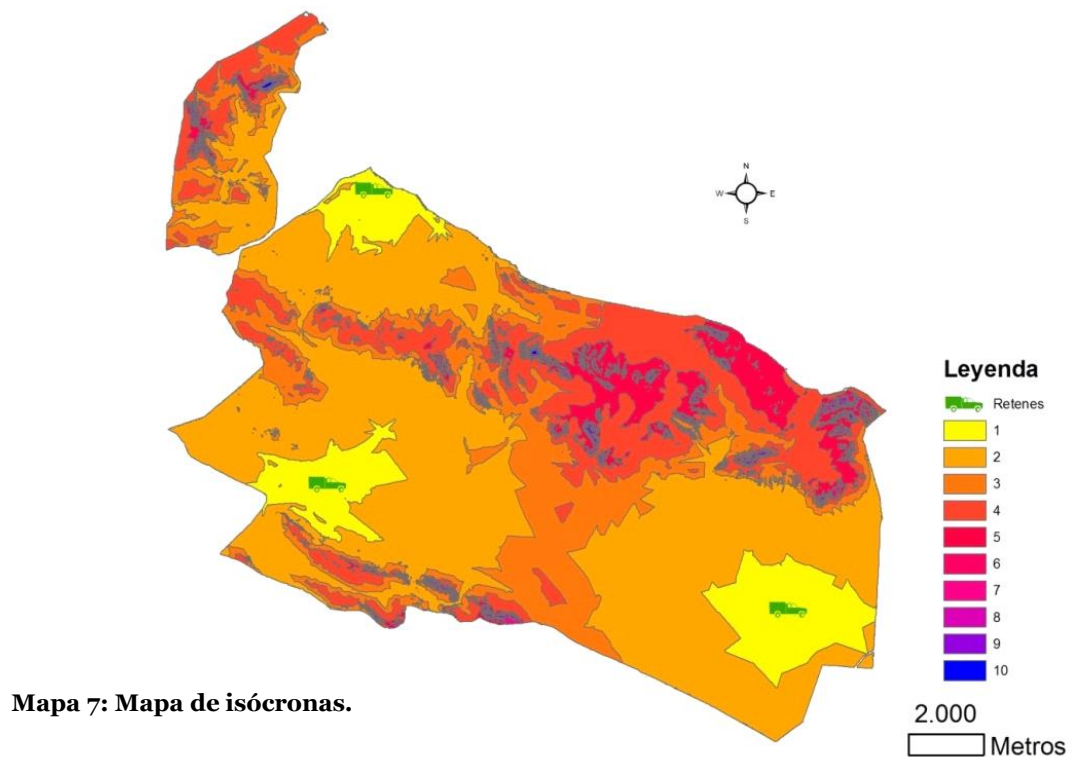
El siguiente paso para la creación de la cartografía de isócronas será digitalizar la posición de los retenes que se encuentran dentro de la zona de estudio y cruzarlos con el mapa de fricción dando como resultado un mapa de accesibilidad, que nos dice el tiempo de respuesta para cada punto del territorio.

Finalmente este mapa de accesibilidad se reclasifica las diez clases mostradas en la Figura 8 y se convierte a vectorial.

Tabla 20: Clases del mapa de isócronas.

Clase	Tiempos
1	0-8
2	8-15
3	15-25
4	25-35
5	35-60
6	60-100
7	100-150
8	150-215
9	215-300
10	300-423

Y ya tenemos el mapa de isócronas que representa el tiempo de acceso desde los retenes a todos los puntos de Cabañeros (Mapa 7).



3.2.2.1 Resultados mapa de isócronas

Se observa que las zonas menos accesibles también son aquellas en las que existe una mayor peligrosidad del medio. Esto se debe a que los modelos de combustibles que presentan una menor velocidad de penetrabilidad por parte

de los medios terrestres son a su vez los modelos con un coeficiente de peligro mayor. También influye la pendiente ya que estos modelos se dan en zonas con mayor pendiente, lo que aumenta su peligrosidad.

Otro motivo de que estas zonas tengan tiempos de acceso mayores es que en esas zonas tampoco existen casi vías de acceso, debido a que se sitúan en las cumbres.

Con el mapa de isócronas podemos observar que un 90% de la superficie de estudio se encuentra accesible en 35 minutos o menos mientras que a un 8% de la zona de estudio es posible llegar en menos de 100 minutos. El resto de la superficie se puede considerar como inaccesible.

Estos mapas se han venido usando en los planes de defensa contra incendios en el ámbito de la prevención y con ellos se logra caracterizar todo el territorio, pudiendo servir como base para análisis como el que se hace en el próximo punto. Sin embargo presentan una importante debilidad, ya que no pueden ser usados en el ámbito de la extinción en tiempo real para estudiar los caminos óptimos de llegada ya que no tienen en cuenta, por muy pequeño que sea el tamaño de pixel, posibles barreras (barrancos, zanjas o vallados) que no pueden traspasar los medios de extinción.

Por todas estas razones y por la posibilidad de crear aplicaciones web que pueden ser usadas en tiempo real y por los análisis que permiten minimizar costes creando rutas optimas de vigilancia por lo que se estudia más adelante la viabilidad de usar los análisis de vías en la prevención y extinción de incendios forestales.

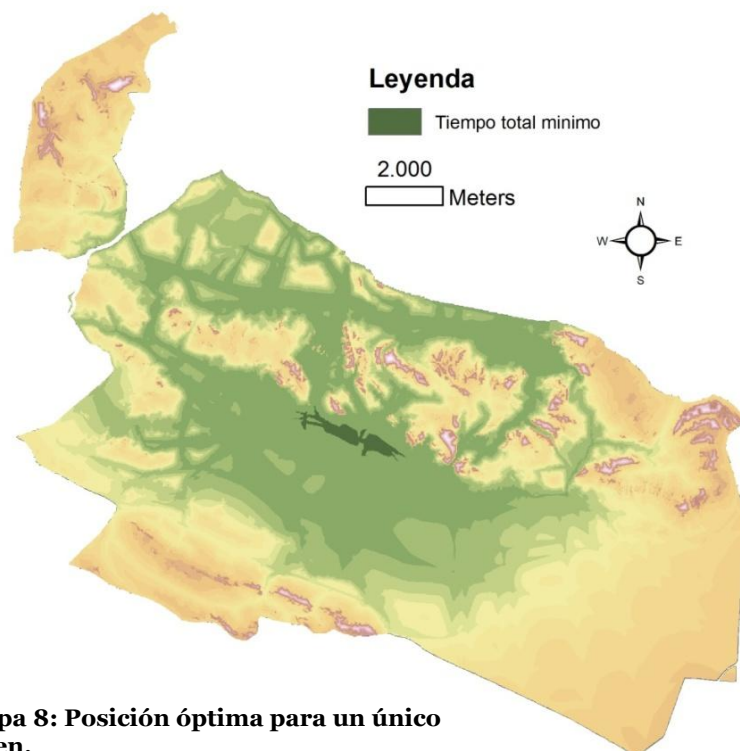
3.2.3 Mapa de accesibilidad invertido y optimización de la posición de los retenes.

El objetivo es estudiar el tiempo de respuesta desde los retenes más cercanos a cualquier punto de la zona de estudio con vistas a una posible optimización de su posición. Ya que contábamos con un mapa de peligrosidad del medio desarrollado anteriormente, se decidió realizar un análisis de accesibilidad invertido.

Este análisis consiste en obtener el tiempo de llegada desde cada pixel de la zona de estudio hasta cada una de las zonas de mayor peligro y sumarlos, de modo que las zonas del territorio con menor tiempo total serán las zonas óptimas donde situar un posible nuevo retén.

La metodología seguida es la siguiente:

1. Seleccionar sobre el mapa de peligrosidad del medio previamente convertido a vectorial las zonas a considerar. En total se seleccionaron 19 zonas de máximo peligro (Mapa 9, pág. 79), para las que se obtienen los centroides para usar esos puntos en el análisis posterior.
2. Con el mapa de fricción creado en el anterior apartado se realiza un estudio del tiempo de llegada desde cada pixel a cada una de las 19 zonas de peligro. Dando como resultado 19 capas con el coste de llegada de cualquier punto del territorio de estudio a cada una de las zonas.
3. Se suman las 19 capas con las herramientas de álgebra de mapas del ArcGIS dando como resultado un raster con el tiempo total de cada pixel para llegar a cada una de las zonas antes consideradas.
4. Este raster se reclasifica en intervalos adecuados de modo que se obtienen las zonas más y menos adecuadas para situar un nuevo posible retén.



Mapa 8: Posición óptima para un único retén.

El resultado nos daría la posición optima en el caso de situar un único retén, zona verde oscura en el dentro del parque, pero dado que dependiendo del año los retenes situados dentro de la zona de estudio podrían ser uno dos o tres, y ya que no se considera la realización de nuevas estructuras para albergar los retenes, se decidió analizar varios escenarios en función de las zonas de riesgo a las que dan servicio cada uno de los retenes, para obtener cuales son las bases óptimas a mantener.

En primer lugar en el caso de que no puedan mantenerse los tres, se puede evaluar que dos retenes habría que mantener para dar un mejor servicio a todas las zonas de riesgo.

El primer paso será crear un nuevo mapa de costes para cada uno de los tres conjuntos de dos retenes. Cada nuevo mapa de costes se cruza con los 19 puntos de peligro anteriores, obteniéndose el tiempo de llegada a cada zona. Finalmente se suman todos los tiempos, con lo que se tiene el tiempo total de llegada a esos 19 puntos considerados, desde los dos retenes mantenidos para cada conjunto. La combinación de dos retenes que tenga un menor tiempo total será la que habría que mantener, en el caso de querer retirar del servicio un retén.

Tabla 21: Tiempos totales de llegada desde cada conjunto de retenes a las zonas de riesgo marcadas.

Conjunto	Retenes	Suma de tiempos (min)
1	Los porches y Labradillo	2131
2	Los porches y Navalgallo	2073
3	Navalgallo y Labradillo	2081

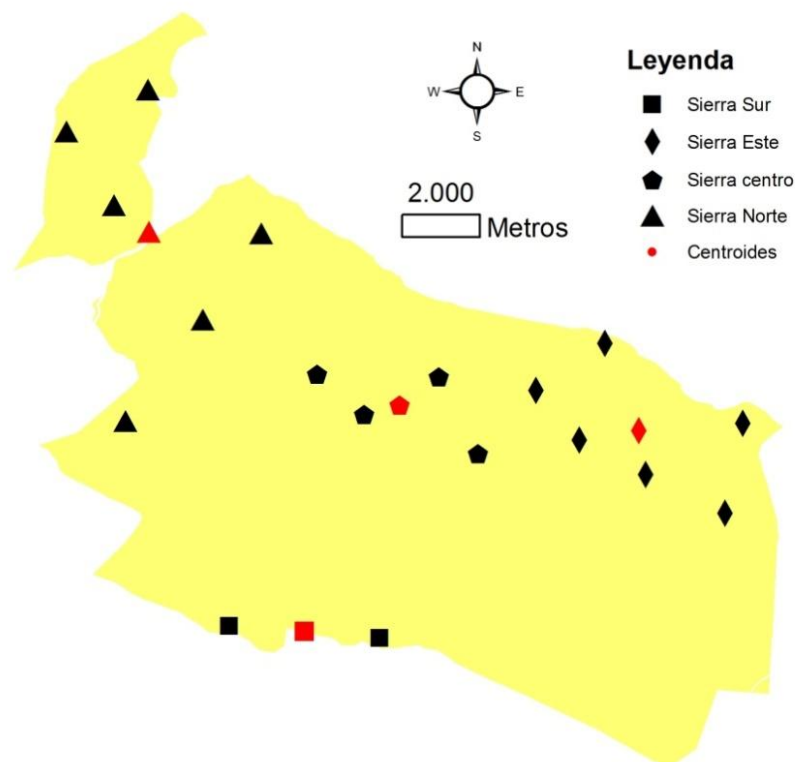
Se observan tiempos muy similares para los tres conjuntos, siendo el que tiene un tiempo total menor el conjunto de los retenes de Los Porches situado en la raña y el de Navalgallo situado en la finca de Las Llanas cerca de la carretera de Horcajo a Retuerta que divide el Parque Nacional en dos.

Según estos resultados el retén a eliminar sería el de Labradillo, pero hay que aclarar que esto solo es en el caso de que se considere retirar un retén, ya que la suma de tiempos de llegada a las zonas de riesgo para los tres retenes es de 1540min significativamente menor a cualquiera de las combinaciones posibles quitando un retén de la zona de estudio.

En el caso de contar con un mapa de peligro actualizado de forma permanente, se podría también evaluar año a año en función de las condiciones del terreno

cuales son las bases más adecuadas a mantener. Por ejemplo, si una zona se encuentra por condiciones de muy baja humedad o por falta de medidas de prevención en riesgo frente a un posible incendio, se podrían elegir las bases que den un mejor servicio a dicha zona. También habría que tener en cuenta una componente importante que no se analiza en este estudio como es la vulnerabilidad. Esta componente debería ser incluida en el análisis y en función de la valoración que se le dé a determinados sistemas forestales, a la posible presencia de población y otros factores que haya que tener en cuenta, los retenes a mantener podrían cambiar.

Para analizar las bases a mantener y sin tener en cuenta la vulnerabilidad se asigna cada uno de los puntos de riesgo a cuatro conjuntos de zonas de riesgo diferenciadas en función de su situación y se obtienen los centroides de cada conjunto como se puede ver en el Mapa 9, de manera que se puede evaluar los retenes óptimos que dan un mejor servicio a cada una de esas zonas claramente diferenciadas.



Mapa 9: Zonas de riesgo asignadas a las cuatro conjuntos y sus centroides.

3.2.3.1 Resultados mapa de isócronas invertido

En Cabañeros no se plantea cambiar la posición de ningún reten ya que no se van crear nuevas estructuras que puedan albergarlos si bien se consideró interesante realizar el análisis de accesibilidad invertido que da como resultado el Mapa 9 ya que puede ser de utilidad en otras zonas donde sí se plantee la creación de nuevas bases.

En cuanto a la metodología desarrollada para estudiar los retenes óptimos anualmente en función de las necesidades si que puede ser de utilidad en Cabañeros si las diferentes administraciones se coordinan (ya que uno los retenes incluidos pertenecen tanto a la Junta de Castilla-La Mancha y al OAPN). También se podría realizar un análisis similar en otros Parques Nacionales, o a una escala más amplia.

A continuación se dan un ejemplo de como este análisis podría ser de utilidad.

Ej:

Suponiendo un año en el que no se han podido llevar a cabo las tareas de prevención adecuadas en la zona Sur y Este, y en el que está previsto mantener únicamente dos retenes durante la campaña de incendios.

Con los mapas obtenidos anteriormente se pueden obtener los dos retenes más adecuados a mantener ese año evaluando el conjunto de retenes para el que se obtiene un menor tiempo de llegada a las dos zonas problemáticas (Tabla 22).

Tabla 22: Tiempos totales de llegada desde las dos zonas problemáticas hasta los retenes de cada conjunto.

Conjunto	Tiempo Sur (min)	Tiempo Este (min)	Tiempo total(min)
1	21,79	27,60	49,39
2	40,15	27,60	67,65
3	21,79	49,62	71,41

Se puede observar que los tiempos para la zona Sur de los conjuntos 1 y 3 y los de la zona Este para los conjuntos 1 y 2 son iguales, esto se debe a que esos conjuntos comparten un retén que es el que da mejor servicio a esas zonas de riesgo.

En este ejemplo los retenes a mantener serían los de Los Porches y Labradillo ya que dan un mejor servicio a las zonas de riesgo prioritarias para ese año.

3.2.4 Análisis de vías

Dado que se dispone en la zona de estudio de un inventario de viales digitalizado y actualizado es viable realizar un análisis de redes para estudiar el tiempo de llegada de los medios terrestres hasta un posible incendio que podría ser usado para obtener la ruta optima a un incendio en tiempo real. Este análisis como en el punto anterior también puede ser utilizado para estudiar un cambio de la posición de los retenes o incluso el cálculo de rutas óptimas para la vigilancia contra incendios.

Como paso previo al análisis de vías, hay que estudiar las velocidades de circulación de los distintos vehículos de los medios de extinción en función de la vía. En nuestro caso los cálculos pueden ser simplificados ya que en principio al tratarse en su gran mayoría de pistas, no hace falta incluir los vehículos pesados (nodrizas, puestos de mando...) en el análisis ya que en principio estos vehículos no son aptos para circular por pistas.

Se decidió tomar las mismas velocidades de circulación para las autobombas y los vehículos todoterrenos en toda la zona de estudio por falta de datos de anchura y especificaciones en la capa de viales, si bien más adelante podrían cambiarse las velocidades de circulación de la autobomba o incluso no permitir la circulación por algunos tramos en el análisis.

Las velocidades de circulación se han compensado con la pendiente, incluyendo como velocidad máxima de circulación por las pistas 30 km/h como señala una comunicación de régimen interno fechada el 24 de Mayo de 2010. Las carreteras en la zona de estudio y alrededores incluidas en el estudio son todas comarcales y se les ha asignado una velocidad máxima de 60 km/h.

Antes de poder crear el “dataset de red” que ha de ser usado para el análisis hubo que adecuar la información, así como realizar una corrección topológica, ya que la capa en el momento de realizar el estudio seguía siendo actualizada.

3.2.4.1 Adecuación de la información

El primer paso será recortar de la capa de viales del parque, las pistas y carreteras correspondientes a la zona de estudio y alrededores (algunas rutas pueden ser más rápidas por vías que discurren fuera del parque)

Dado que la capa de viales proporcionada por los técnicos del parque estaba en periodo de actualización y las especificaciones de la capa a lo largo de los años se han perdido ya que no están incluidas en los metadatos, ha habido que reclasificar las vías en tres tipos sin saber exactamente la fiabilidad de los datos. Se han clasificado los datos en pistas de primera, pistas de segunda, y carreteras comarcales.

Una vez se tiene recortada la capa de viales, esta se cruza con el mapa de pendientes para obtener las pendientes medias de cada tramo, para así poder asignarle una velocidad de circulación en función del tipo de vial y de la pendiente media, como muestra la siguiente tabla.

Tabla 23: Velocidades de circulación.

Tipo de vía	Pendiente (%)	Velocidad (Km/h)
Pista de primera	< 3	30
	3 - 10	25
	>10	15
Pistas de segunda	< 3	30
	3 - 10	25
	>10	15
Carreteras	-	60

Una vez se tiene la velocidad de circulación por cada uno de los tramos se añade un nuevo campo en la tabla asociada a la capa que corresponda con el tiempo necesario para recorrerlo por los medios terrestres. Este tiempo más la longitud del tramo será usado más tarde como atributos de coste en la creación del “dasaset de red” que se explica más adelante.

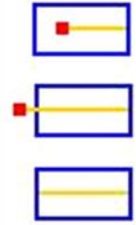
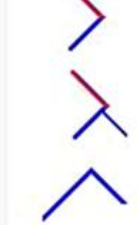

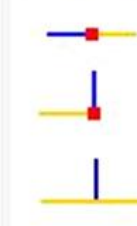
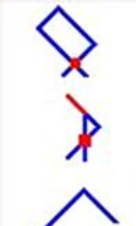

-Corrección topológica:

Para la realización del análisis de redes es necesario que exista coherencia topológica³ y dado que la capa de viales estaba en proceso de actualización y no estaba finalizada hubo que realizar una corrección topológica, creando una nueva topología en ArcGIS.

Las reglas que se incluyeron para los elementos que conforman la red son las mostradas en la Tabla 24.

³ Topología: La topología permite encontrar geometrías coincidentes o comunes tanto en entidades de puntos, líneas y polígonos, así como comprobar la integridad de la información y validación de las representaciones.

Tabla 24: Reglas topológicas incluidas (Fuente ESRI)

<p>No debe tener arcos colgantes</p> <p>Rule Description</p>  <p>A line from one layer must touch lines from the same layer at both endpoints.</p> <p>Any endpoint where the line does not touch another line is an error.</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Show Errors</p>	<p>No debe superponerse a sí mismo</p> <p>Rule Description</p>  <p>A line feature from one layer must not intersect or overlap itself.</p> <p>Any line where the feature overlaps itself is an error.</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Show Errors</p>
<p>No debe superponerse</p> <p>Rule Description</p>  <p>A line from one layer must not overlap lines from the same layer.</p> <p>Any line that overlaps is an error.</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Show Errors</p>	<p>No debe tener pseudonodos</p> <p>Rule Description</p>  <p>A line from one layer must touch more than one line from the same layer at its endpoints.</p> <p>Any endpoint where the line touches one other line is an error.</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Show Errors</p>
<p>No debe intersectarse a sí mismo</p> <p>Rule Description</p>  <p>A line feature from one layer must not intersect itself.</p> <p>Any line where the feature overlaps itself or any point where the feature intersects itself is an error.</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Show Errors</p>	<p>Debe ser parte simple</p> <p>Rule Description</p>  <p>A line feature from one layer must not have more than one part.</p> <p>Any line feature with more than one part is an error.</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Show Errors</p>

Durante la corrección el programa señalaba más de 600 errores si bien muchos de ellos correspondían con características de la propia red, por ejemplo la gran

mayoría de los arcos colgantes pertenecían a puntos finales de pistas forestales. Los errores que indicaba el programa hubo que analizarlos uno a uno marcando como excepciones aquellos que se consideraron como tales (Tabla 25).

Tabla 25: Errores

Regla	Nº errores
No debe tener arcos colgantes	319
No debe superponerse	47
No debe tener pseudonodos	170
No debe intersectarse a sí mismo	0
No debe superponerse a sí mismo	0
Debe ser parte simple	72

Una vez realizada la corrección se puede continuar con el análisis de redes con la creación del “dataset de red”.

3.2.4.2 Creación del “dataset de red”

La fuente de nuestro “dataset de red” será la capa de viales recortada y corregida. Los giros serán permitidos en cualquier punto, y no se incluirá la elevación dentro del análisis.

Se incluyen como atributos de coste para medir la impedancia el tiempo y la longitud de los tramos anteriormente incluidos durante la fase de adecuación de la información. El análisis que se realizará posteriormente está orientado a minimizar el coste en tiempo que los medios terrestres toman para llegar a un incendio. La longitud se incluye por si más adelante se quiere utilizar el “dataset de red” para encontrar las mejores rutas de vigilancia durante la época de peligro de incendio.

Si se quieren asignar a cada tramo de la vía diferentes tiempos de circulación para distintos vehículos, en el caso de que por determinados pistas la autobomba o vehículos pesados no puedan circular o lo tengan que hacer más despacio, se puede incluir un nuevo atributo de coste con los nuevos tiempos asignados para cada tramo.

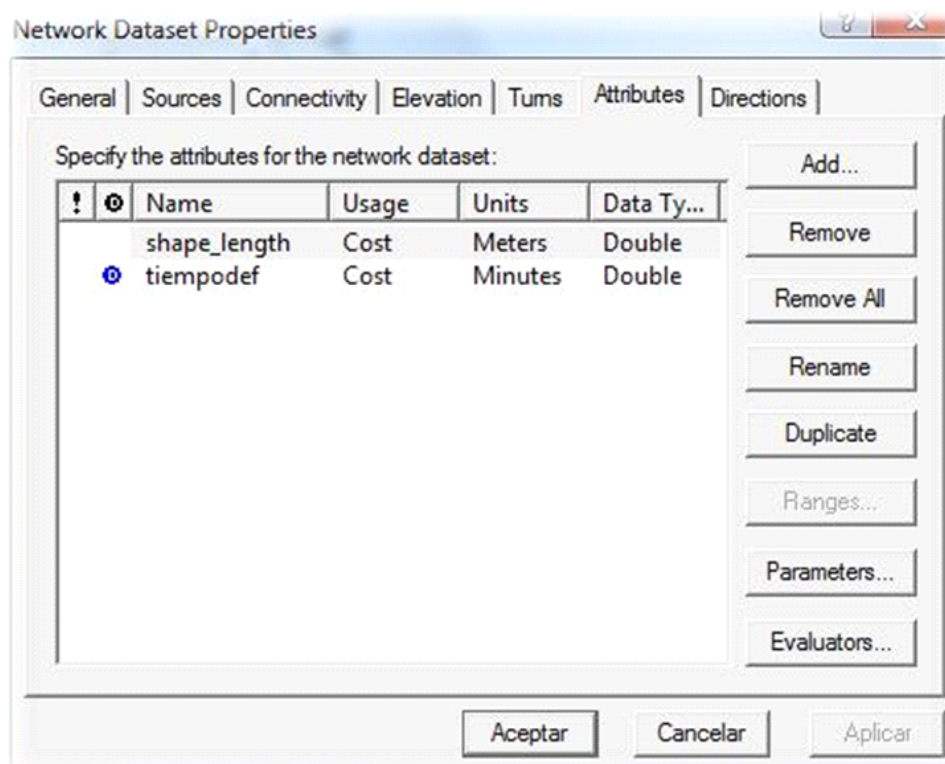


Figura 9: Captura de los atributos de coste incluidos.

En nuestro caso no hay que aplicar ninguna restricción ya que se supone que los vehículos pueden circular por cualquiera de las pistas de la zona de estudio. En el caso de querer incluir alguna, se puede añadir uno o varios campos al “dataset” con las restricciones en la ventana que se muestra en la Figura 9.

Con el fin de comprobar la fiabilidad del “dataset” creado, se realizaron varias pruebas con supuestos incendios y rutas que aparecen detalladas en el apartado de resultados.

Durante estas pruebas se observó que si bien en experiencias previas la utilización de un análisis de redes para incendios forestales había sido positiva, en nuestro caso presentaba algunas carencias. Los estudios previos realizados con análisis de redes se dieron o bien a una gran escala con el objetivo de optimizar las bases de incendios, o bien a una escala menor en un municipio de Asturias donde la densidad de los caminos era mucho mayor y se podía acceder a casi cualquier punto del territorio donde se produjera un incendio sin que prácticamente los medios terrestres tengan que penetrar por terreno forestal.

En este caso las zonas de mayor peligro están situadas lejos de cualquier vial, por lo que el análisis de redes solo nos muestra el punto del vial más cercano al incendio, pero así no se tiene en cuenta el desplazamiento y penetrabilidad de los medios por fuera de las vías, que en muchos casos es mayor que el tiempo de circulación por las pistas y carreteras.

Puede ocurrir que la herramienta de análisis nos lleve a un punto de una pista desde el que los medios terrestres tarden mucho más que desde otro punto quizás más alejado, pero desde el que exista un terreno más adecuado para el desplazamiento.

Dado el gran avance que los análisis de redes pueden suponer para minimizar los tiempos de llegada a un incendio forestal si se superan estas debilidades, se va dar en el próximo punto una posible solución.

3.2.4.3 Análisis de redes combinado con la cartografía de isócronas

Este problema se ha tratado de solventar uniendo las posibilidades de los mapas de fricción para evaluar el tiempo de llegada por los terrenos fuera de las vías, con la facilidad y fiabilidad del análisis de redes.

En un primer momento se intentó realizar una red densa de rutas óptimas a través de las zonas de mayor peligrosidad y menor densidad de vías, si bien debido a varios problemas, entre otros el gran volumen de nodos y ejes del nuevo “dataset” creado que eternizaban los cálculos, se descartó esta posibilidad.

Es por ello que se decidió simplificar el cálculo de unas rutas óptimas a través del terreno forestal hasta los centroides obtenidos anteriormente para la obtención del mapa de isócronas invertido.

Se han tomado como puntos de prueba las zonas de riesgo 2, 7, 10, 11, y 16 y se ha calculado la ruta de menor coste de cada una de dichas zonas de riesgo a las vías que lo rodean usando el mapa de fricción.

Para ello, se calcula el camino de menor coste en tiempo desde el centroide de la zona de riesgo, hasta los tres retenes situados en la zona de estudio. Dando como resultado uno o varios caminos a través del terreno forestal hasta el punto de inserción con una vía forestal ya que estas están representadas también en el mapa de fricción.

Para poder incluir estos caminos en el análisis redes hay que obtener el tiempo de recorrido de cada tramo.

Este tiempo de recorrido se asignó de la siguiente manera:

1. En primer lugar se cruzaron los nuevos caminos con la capa raster del mapa de fricción. Dando lugar a unos caminos en formato raster con la fricción en cada pixel.
2. Estos caminos en formato raster se convirtieron a vectorial y se calculó la longitud de cada tramo.
3. Multiplicando la longitud por el coeficiente de fricción asignado a cada pixel se obtiene el tiempo que tardarían los medios terrestres en desplazarse por cada tramo.

Ej: Tramo con coeficiente de fricción 150 y longitud de 500 metros.

$$\frac{150 \text{ min}}{10 \text{ km}} * 0,5 \text{ km} = 7,5 \text{ min}$$

Una vez se tiene el tiempo y la longitud se recortan y unen a la red de caminos que ya teníamos para realizar un análisis de vías conjunto con el que se puede obtener el tiempo total de llegada (tiempo por las vías más tiempo de recorrido por el terreno forestal) de los medios terrestres hasta las zonas de riesgo y puntos intermedios

Habría que realizar una nueva corrección topológica y crear un nuevo “dataset” de red que incluya las nuevas rutas incluidas hasta las zonas de riesgo 2, 7, 10, 11, y 16.

Una vez que se tiene la nueva red creada, se pueden realizar las pruebas necesarias para validarla, cuyos resultados se presentan en el siguiente apartado.

3.2.4.4 Resultados y discusión del análisis de redes

Con el propósito de probar la viabilidad del uso del análisis de redes en un territorio como Cabañeros para estudiar el tiempo de llegada a un incendio forestal se realizaron varias pruebas con la herramienta de análisis de redes de ArcGIS.

En primer lugar se presentan dos pruebas representativas de las muchas realizadas con el primer “dataset de red” creado que solo incluye la capa de vías forestales. Durante estas pruebas se encontraron las debilidades comentadas anteriormente que nos llevaron a tratar de solucionarlas mediante la combinación con los mapas de fricción y la creación de un nuevo “dataset”. Finalmente se comprobó la validez y fiabilidad de este segundo “dataset”.

Pruebas con el primer “dataset”:

Primera prueba: Incendio declarado a menos de cien metros (Distancia a la que pueden llegar las mangueras) de una pista forestal.



Figura 11: Incendio.



Figura 10: Reten.

En la Figura 11 se muestra el símbolo que se utilizara a partir de ahora para un incendio forestal y en la Figura 10 el símbolo asignado para los retenes forestales.

Obtendremos las rutas óptimas y el tiempo de llegada desde cada uno de los tres retenes de los vehículos forestales y también la longitud del recorrido que se pueden observar en la Figura 12 en la siguiente página.

Los tiempos de llegada de cada ruta se presentan en la Tabla 26.

Tabla 26: Tiempos de llegada.

Reten	Tiempo
Reten los porches	17,84 min
Reten Labradillo	24,33 min
Reten Navalgallo	46,66 min

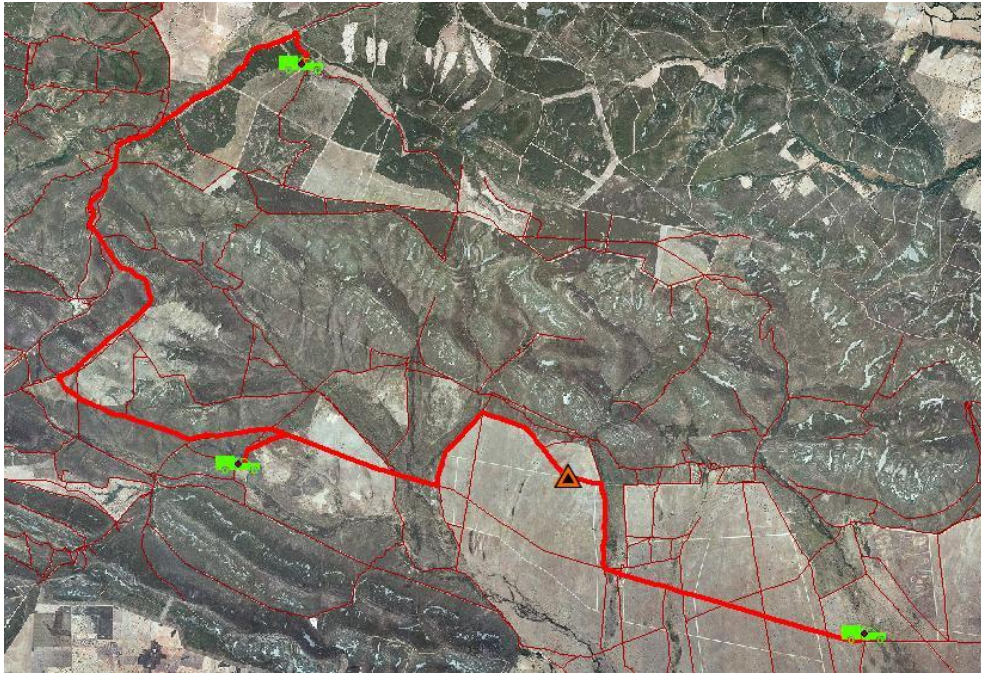


Figura 12: Rutas óptimas desde los tres retenes hasta el incendio.

Si por cualquier motivo cualquiera de las vías forestales o carreteras estuvieran cerradas, o fueran de difícil acceso para un vehículo como la autobomba, podrían incluir barreras en el análisis para buscar una ruta alternativa como se muestra en la Figura 13.



Figura 13: Barrera situada en la ruta del reten de Los porches y la ruta alternativa.

Como se puede observar en el caso de que el incendio se declare cerca de una pista forestal con un “dataset” que solo incluya la capa de vías bastaría para estudiar el tiempo de llegada de los medios terrestres ya que a menos de 100 metros (distancia a la que llegan las mangueras) de la vía se podría considerar el mismo tiempo.

Segunda prueba: Incendio declarado lejos de cualquier vía, los medios terrestres tendrán que penetrar a través del terreno forestal para acceder al incendio.

En este caso se va a indicar a la herramienta que calcule la ruta desde un único reten cercano al incendio para facilitar la visualización, si bien se podrían incluir los otros dos retenes en el análisis cuyas rutas optimas de llegada terminarían en el mismo punto (Figura 14).



Figura 14: Ruta de acceso desde reten más cercano.

Como se puede observar la herramienta indica como ruta optima el punto de la vía más cercano al incendio, si bien como se puede observar en la ortofoto, a primera vista el desplazamiento a través del terreno forestal hasta el incendio por parte de los medios terrestres parece ser más sencillo desde la vía superior ya que se trata de una zona adhesada que desde el punto indicado por la herramienta de análisis desde el cual habría que atravesar monte bajo.

Esto se va a comprobar calculando con el mapa de fricción la mejor ruta desde el incendio hasta el retén (Figura 15, Figura 16).



Figura 16: Ruta calculada con el mapa de fricción sobre ortofoto.

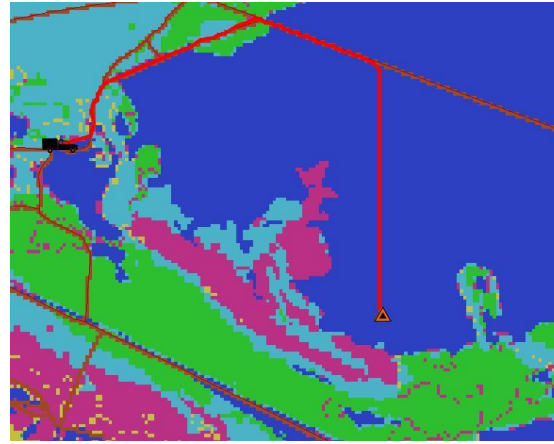


Figura 15: Ruta sobre el mapa de isócronas.

Como se puede observar la ruta óptima teniendo en cuenta el desplazamiento fuera de las vías es mejor por la zona superior. Esto se debe que la zona azul corresponde con un terreno por el que los vehículos pueden desplazarse, mientras que la ruta que tendrían que tomar los medios de extinción a través del terreno desde el punto de la vía indicado por el análisis de vías como se ve en la Figura 17 y Figura 18 atraviesa zonas por las que los vehículos no pueden circular y tendrían que atravesar a pie (zonas violetas y verde).



Figura 17: Ruta por el terreno hasta punto vía señalado en el análisis de vías.

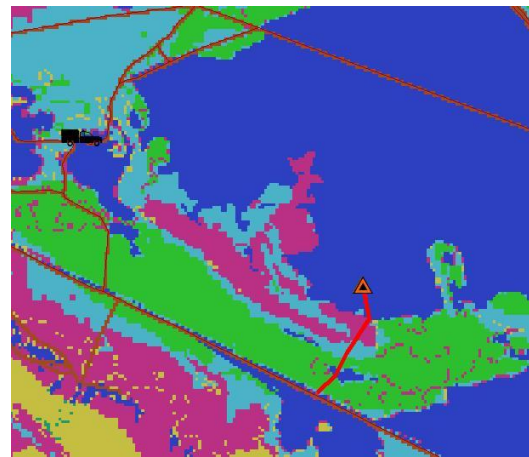


Figura 18: Ruta sobre el mapa de isócronas.

En este caso las distancias son pequeñas, pero aun así la diferencia de tiempo entre acceder hasta el incendio por un terreno por el que los vehículos puedan transitar como es la zona superior en las imágenes o acceder por una zona

donde los medios terrestres tengan que penetrar a pie como es la zona inferior es significativa. Acceder hasta el incendio por la ruta marcada por el análisis de vías llevaría 33 minutos, mientras que acceder por la ruta obtenida mediante el mapa de fricción solo llevaría 12 min dado que los medios terrestres podrían acceder hasta el incendio con los vehículos.

Usando el mapa de fricción y el análisis raster se pueden obtener rutas óptimas de llegada hasta el mismo incendio, como se puede ver en esta prueba. Sin embargo no es viable realizar estos cálculos en tiempo real frente a un incendio ya que llevan demasiado tiempo. Es por ello que se han combinado estos análisis raster con los análisis de vías para poder obtener rutas óptimas de llegada hasta el mismo incendio en tiempo real.

Pruebas con el Nuevo “dataset”:

En este caso se usara para realizar las pruebas del análisis de vías el nuevo “dataset” en el que hemos incluido las rutas obtenidas a través del terreno forestal con el mapa de fricción.

Tercera prueba: Acceso a un incendio declarado dentro de la zona de riesgo 11 alejada de cualquier vía forestal.



Figura 19: Rutas óptimas de acceso a través del terreno forestal a la zona de riesgo.

En la Figura 19 se puede observar la zona de riesgo 11 con las rutas incluidas en el nuevo “dataset” a través del terreno forestal destacadas en azul. Estas rutas destacadas no son vías forestales si no rutas de tiempo mínimo de acceso a través de la vegetación hasta las zonas consideradas más peligrosas.

Se realiza un nuevo análisis de rutas óptimas desde los retenes para comprobar su validez. Dando como resultado tres rutas diferentes de acceso.

-Ruta desde el retén de Los Porches (Figura 21), (Figura 20):

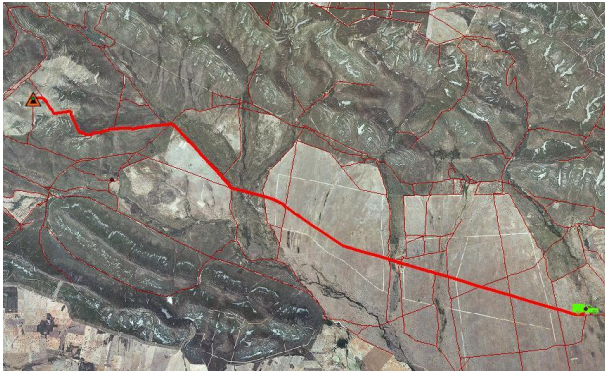


Figura 21: Ruta retén de Los Porches.



Figura 20: Detalle

Desde este retén se tardarían 52 minutos en llegar al incendio.

-Ruta desde el retén de Labradillo (Figura 22), (Figura 23): Se observa que en este caso la mejor ruta de acceso se encuentra por la zona inferior. De haber utilizado el anterior “dataset” el punto de llegada indicado estaría en la zona superior. Desde este retén el tiempo de acceso son 38 minutos.



Figura 22: Ruta retén de Labradillo.



Figura 23: Detalle

-Ruta desde el retén de Las Llanas (Figura 24), (Figura 25)

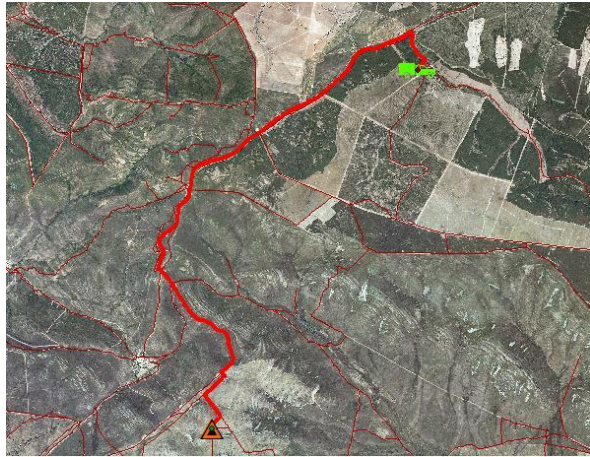


Figura 24: Ruta desde el retén de Las Llanas.



Figura 25: Detalle.

El tiempo de llegada desde este reten son 35 minutos.

Se puede observar que todas las rutas obtenidas, desde cada uno de los retenes, tienen un punto de salida distinto de las vías forestales para acceder al incendio a través del terreno forestal.

En un análisis de vías clásico sin haberlo combinado con el mapa de costes, se obtendría el mismo punto óptimo de llegada a la vía forestal más cercana al incendio.

Pero como hemos podido comprobar con esta prueba, con la nueva red, el punto de salida de la vía para penetrar a través del terreno forestal cambia en función del retén, lo que indica las posibilidades y el beneficio en tiempos de llegada que se podría obtener uniendo los dos análisis.

Cuarta prueba: Acceso a un incendio declarado en la zona de riesgo 10, también alejada de cualquier vía forestal.

En este caso se obtuvieron únicamente dos rutas de acceso óptimas a través del terreno forestal. En la Figura 26 destacadas en azul.

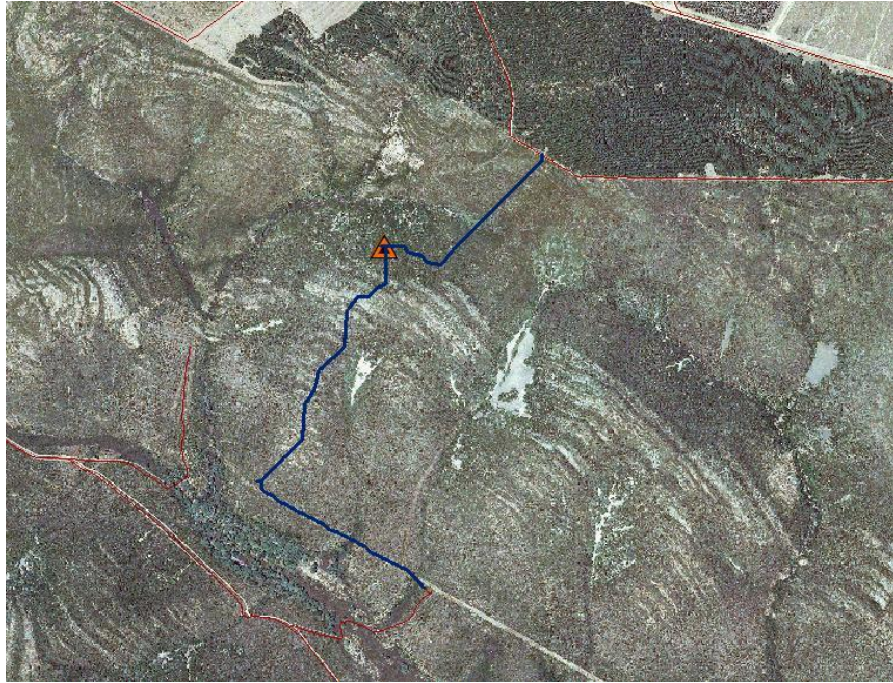


Figura 26: Rutas óptimas de acceso a través del terreno forestal a la zona de riesgo.

Se hizo el análisis de las rutas óptimas desde los tres retenes y se observó que en todos los casos el mejor camino para acceder al incendio es el camino inferior de la imagen Figura 27, Figura 28.

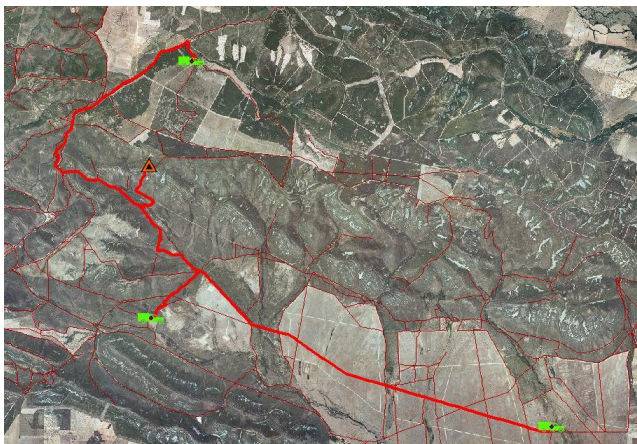


Figura 27: Rutas óptimas desde los tres retenes.

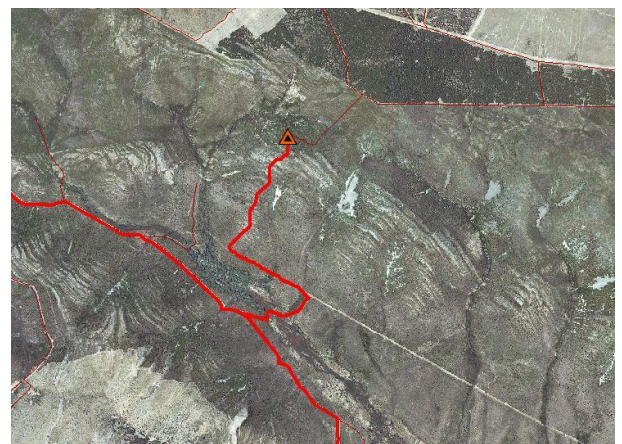


Figura 28: Detalle de la ruta óptima compartida a través del terreno forestal.

Esto se debe a que la ruta superior atraviesa una zona con un modelo de combustible y por lo tanto una vegetación mucho menos desplazable o penetrable (en función de si pueden acceder en vehículo o a pie) por los medios terrestres de extinción. Es por ello que la ruta óptima de acceso desde

cualquiera de los retenes este por este camino, pues el tiempo de llegada será menor.

Para comprobar esto, se calculó el tiempo de llegada desde el retén de Navalgallo hasta el incendio primero por la ruta óptima (Figura 29), y después impidiendo el paso por el camino inferior mediante una barrera (Figura 30), por lo que la herramienta calculara una nueva ruta utilizando el otro camino.

Esto podría ser de utilidad por ejemplo en el caso de que la zona por donde se sitúa el camino inferior este siendo afectada por el incendio y los medios terrestres se pudieran ver comprometidos al acceder por esa ruta. Por eso en tiempo real se puede impedir el acceso mediante una barrera en la herramienta y obtener una ruta alternativa de acceso.



Figura 29: Detalle de la ruta optima desde el retén de Navalgallo.



Figura 30: Nueva ruta.

El tiempo obtenido para la ruta óptima desde el retén de Las Llanas es de 413,2 minutos, mientras que por la segunda ruta los medios terrestres ocuparían 567,6 minutos en llegar al incendio.

Estos tiempos de llegada tan altos se deben a la especial inaccesibilidad de la zona de riesgo 10 debido a las fuertes pendientes y a la impenetrabilidad del monte bajo que la rodea

4. Conclusiones

A continuación se presentan las conclusiones.

1. Mapa de peligrosidad del medio:

Se ha obtenido un mapa de peligrosidad del medio a partir de datos ya existentes y de la caracterización de los modelos de combustible presentes en el parque tanto con la clave de Rothermel, como con la de Prometheus.

Esta caracterización ha sido posible gracias a la nueva metodología propuesta que permite obtener de manera sencilla y económica una cartografía de modelos de combustible a partir de datos LiDAR y una capa de vegetación muy detallada.

Esta cartografía sería fácilmente actualizable para el Parque Nacional de Cabañeros cuando se disponga de datos nuevos vuelos LiDAR. Es posible su aplicación en otras zonas pero se tendría que contar con un mapa de vegetación o bien cambiar alguna parte del proceso.

Tanto la metodología como la cartografía deberían ser validadas mediante un muestreo por parcelas que no ha podido ser realizado por falta de medios.

Este mapa de peligrosidad del medio fue más tarde útil para determinar las zonas a tener en cuenta en el análisis de accesibilidad, y podría ser útil para integrarlo en un mapa de riesgo actualizado a corto plazo.

2. Análisis de accesibilidad:

Se ha realizado un análisis de accesibilidad, obteniendo el tiempo de llegada a cualquier punto del territorio, gracias al cual ha sido posible realizar una propuesta de optimización de las bases contra incendios. Esta propuesta podría extrapolarse a otros parques nacionales o incluso realizarse a una escala mayor.

Ha sido posible crear las estructuras de datos necesarias para realizar un análisis de vías ya que se contaba con una capa de viales digitalizada. En el caso de no poder contar con dicha capa habría que crearla, lo que es muy costoso. Si bien se recomienda su creación en zonas de especial

vulnerabilidad dados los beneficios que presenta para el estudio de los tiempos de llegada, y la optimización de los recursos contra incendios.

Dentro del análisis de accesibilidad se ha desarrollado una nueva metodología para tratar de combinar las posibilidades de la cartografía de isócronas que proporciona el tiempo de llegada a cualquier punto del territorio con la fiabilidad y manejabilidad de los análisis de vías. Este análisis combinado se ha revelado de utilidad en territorios como Cabañeros en donde algunas zonas el tiempo de llegada para llegar a un incendio forestal es fundamentalmente el ocupado en atravesar terreno forestal. Realizando análisis de este tipo en conjunto con mapas de peligrosidad del medio, se podrían mantener incluso carriles a través del terreno relativamente limpios para facilitar el acceso hasta zonas comprometidas.

Bibliografía

- Akay, Abdullah, y otros. 2011.** *A GIS-based decision support system for determining the shortest and safest route to forest fires: a case study in Mediterranean Region of Turkey*. Kahramanmaras Sutcu : Springer Science+Business, 2011. Vol. Springer Science+Business. 184:1391–1407 DOI 10.1007/s10661-011-2049-z.
- Allué Andrade, Xose Luis. 1990.** *Mapa de Subregiones Fitoclimáticas de España Peninsular y Balear*. Madrid : Dirección General de Medio Natural y Política Forestal. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino, 1990.
- Andrews, P.L. y Queen, L.P. 2001.** Fire modelling and information system technology. *International Journal of Wildland Fire*. 2001, págs. 343-352.
- Arroyo, Lara Anoia. 2006.** *Cartografía de modelos de combustibles forestales a partir de imágenes de alta resolución espacial y clasificadores de contexto*. Madrid : s.n., 2006.
- Balma forestal SLP. 2009.** Balmasl. [En línea] 2009. [Citado el: 18 de 02 de 2014.] <http://balmasl.com/arees/lidar-forestal/>.
- Basilio Rada, Luis Marquina. 2004.** *Planes de Protección contra Incendios Forestales en Parques Nacionales: P. N. de Ordesa y Monte Perdido*. Madrid : OAPN, 2004.
- Burgan, R.E y Rothermel, R.C. 1984.** BEHAVE:Fire Behaviour Prediction and Fuel Modelling System. Fuel Subsystem. Ogden,Utah : USDA Forest Service, 1984. GTR INT-167.
- Burgan, R.E. y Rothermel, R. C. 1984.** *BEHAVE: fire behavior prediction and fuel modeling system - FUEL subsystem*. Ogden,Utah : USDA Forest Service, 1984. GTR INT-167.
- Castilla-la Mancha. 2013.** *Borrador del Plan Director de Prtoteccion y Defensa Contra Incendios Forestales de Castilla-la Mancha*. Toledo : Consejería de Agricultura, 2013.
- Castilla-La Mancha. 2011.** Decreto 126/2011, de 7 de junio. Diario Oficial de Castilla-La Mancha,9 de julio de 2011, num 133, p. 25687-25697. 2011.
- . **2005.** Decreto 191/2005, de 27 de diciembre, por el que se aprueba el PLATECAM.Diario Oficial Castilla - La Mancha,30 de Diciembre de 2005, num 263, p. 24379-24383. 2005.

Castilla-la Mancha. 2008. Ley 3/2008, de 12 de junio, de Montes y Gestión Forestal Sostenible. Boletín Oficial del Estado, 12 junio de 2008, núm. 193 p. 34088-34111. 11 de de Agosto de 2008.

Copete, Miguel A., y otros. 2007. *Mapa de riesgo potencial de incendios forestales de Castilla-La Mancha*. Albacete : Junta de Comunidades de Castilla-la Mancha, 2007.

Cremades, Javier Estornell. 2011. *Análisis de los factores que influyen en la precisión de un MDE y estimación de parámetros forestales en zonas arbustivas de montaña mediante datos LiDAR*. Valencia : s.n., 2011.

Cubo María, José Eleazar, y otros. 2012. *Los Incendios Forestales en España Decenio 2001-2010*. Madrid : Centro Publicaciones Secretaria General Tecnica MAGRAMA, 2012. NIPO: 280-12-210-8.

Chuvieco, Emilio, y otros. 2004. *Metodos para la integracion de variables de riesgo: El papel de los sistemas de informacion geografica*. [aut. libro] Emilio Chuvieco y Maria del Pilar Martin. *Nuevas tecnologias para la estimacion del riesgo de incendios forestales*. Madrid : CSIC, 2004.

D.G. de Montes y Espacios naturales. 18 febrero de 2014. *Plan director incendios forestales*. [Correo electronico] 18 febrero de 2014.

DG Protección Ciudadana. 2010. *Plan de emergencias por incendios forestales de Castilla-la Mancha*. Toledo : Castilla-La Mancha, 2010.

Erdody, T.L., and M.L. Moskal,. 2010. *Fusion of LiDAR and imagery for estimating forest canopy fuels, Remote Sensing of Environment*. 2010. 114(4):725–737.

España. 1985. Ley 2/1985, de 21 de enero, sobre protección civil. Boletín Oficial del Estado, de 25 de enero de 1985, núm. 22, páginas 2092 a 2095. 1985.

—. **1995.** Ley 33/1995, de 20 de noviembre de 1995, de declaración del Parque Nacional de Cabañeros. Boletín Oficial del Estado de 21 de noviembre de 1995, núm. 278, páginas 33665 a 33669. 1995.

—. **21 de noviembre.** *Ley 43/2003, de 21 de noviembre, de montes*. Boletín Oficial del Estado, 22 de noviembre de 2003, núm. 280, p. 41422-41441. 22 de 11 de 21 de noviembre.

—. **2007.** Ley 5/2007, de 3 de abril, de la Red de Parques Nacionales. Boletín Oficial del Estado 4 de abril de 2007, num 81. 2007.

—. **2011.** Real Decreto 139/2011, de 4 de febrero, para el desarrollo del Listado de especies amenazadas. Boletín Oficial del Estado 23 de febrero de 2011, num. 46, p.20912 a 20951. 2011.

—. **2005.** Resolución de 15 de noviembre de 2005, del Organismo Autónomo Parques Nacionales. Boletín Oficial del Estado, de 8 de diciembre de 2005, núm. 293, páginas 40200 a 40204. 2005.

Fernandez, Eularico. 24 febrero de 2014. *Gestion de Cabañeros*. [Correo electrónico] 24 febrero de 2014.

García, Oscar Jerez. 1997. *El monte mediterráneo, la vegetación y la fauna de los Montes de Toledo*. Toledo : Servicio de publicaciones de la Universidad de Castilla-la Mancha, 1997. ISBN:978-84-9044-028-5.

García-Rey, Marcos. 2013. <http://www.espanaenllamas.es/>. [En línea] 29 de Julio de 2013. [Citado el: 06 de Junio de 2014.]
<http://www.espanaenllamas.es/gasto-publico-contra-incendios-forestales-sin-transparencia/#comments>.

Generalitat Valenciana. 2010. *Plan Especial frente al Riesgo de Incendios Forestales*. Valencia : s.n., 2010.

Gobierno del Principado de Asturias. 2007. *Plan de Defensa contra Incendios del concejo de Taramundi*. 2007.

Govern De Les Illes Balears. 2001. *III Plan general de defensa contra incendios forestales de la CAIB*. 2001.

Gutiérrez-Marco, Juan Carlos, Rábano, Isabel y Barrón, Eduardo. 2011. *Geodiversidad y Biodiversidad en el Parque Nacional de Cabañeros (Ciudad Real-Toledo) En. XIX Bienal de la Real Sociedad Española de Historia Natural*. Toledo : Universidad de Castilla-La Mancha, 2011. ISBN:978-84-936677-8-8.

ICONA. 1990. *V Curso Superior sobre Defensa contra Incendios Forestales*. Madrid : s.n., 1990.

Jakubowski, Marek K., y otros. 2013. *Predicting Surface Fuel Models and Fuel Metrics Using Lidar and CIR Imagery in a Dense, Mountainous Forest*. Berkeley : American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 2013. Vol. 79. 0099-1112/13/7901-37.

Jiménez García-Herrera, José, et al. 2011. *Guía de visita del parque nacional de Cabañeros*. Madrid : OAPN, 2011. 978-84-8014-807-8.

Junta de Andalucía. 2013. *Plan Infoca.* 2013.

Junta de Comunidades de Castilla La Mancha. 2013. *Borrador: Plan director de protección y defensa contra incendios forestales de Castilla-la Mancha.* Toledo : Consejería de Agricultura, 2013.

La Tribuna de Ciudad Real. 2014. [En línea] 26 de 01 de 2014. [Citado el: 13 de 02 de 2014.] <http://www.latribunadeciudadreal.es/noticia/ZEFFD5438-BoF9-DA13-07D01E7C4A18C36F/20140126/comienzo/repoblacion/parte/zona/caba%C3%B1eros/quemada/verano/2012>.

Ley 43/2003, España. 21 de noviembre. *Ley 43/2003, de 21 de noviembre, de montes.* Boletín Oficial del Estado, 22 de noviembre de 2003, núm. 280, p. 41422-41441. 22 de 11 de 21 de noviembre.

MacGaughey, Robert J. 2014. *FUSION/LDV: Software for LIDAR Data Analysis and Visualization 3.41.* Seattle : US Department of Agriculture, Forest Service, 2014. WA 98195-2100.

MAGRAMA. 2014. Sala de prensa. [En línea] 24 de 01 de 2014. [Citado el: 13 de 02 de 2014.] <http://www.magrama.gob.es/es/prensa/noticias/el-gobierno-aprueba-el-proyecto-de-ley-de-parques-nacionales,-que-refuerza-la-coordinaci%C3%B3n-del-estado-y-de-las-comunidades-aut%C3%B3nomas-para-garantizar-su-correcta-conservaci%C3%B3n/tcm7-313099-16>.

Mapa Forestal de España (MFE50). **Magrama. 1997-2006.** Madrid : Magrama, 1997-2006.

Moreno, Cristina Esteban y Tutor, Juan Carlos García Palomares. 2012. *Análisis de rutas. Lucha contra incendios.* Madrid : s.n., 2012.

Mutlu, Muge, y otros. 2007. *Mapping surface fuel models using lidar and multispectral data fusion for fire behavior.* s.l. : Remote Sensing and Environment, 2007. 112 (2008) 274-285.

OAPN. 2010. *Segundo informe de situación de la red de parques nacionales (2007-2010).* Num 2. Madrid : OAPN, 2010.

OAPN, MAGRAMA. 2013. *Sistemas Naturales de Vegetación del Parque Nacional de Cabañeros.* Madrid : s.n., 2013. ESPNCABAVEG20111213001.

Planells González, Rosa. 2009. *Apuntes Defensa del Monte.* 2009. Vol. Tema 6.

Prometheus. 1999. 1999.

Ramírez, J., BLANCO MARTÍNEZ, J., CERRILLO CUENCA, A., MARQUÉS RODRÍGUEZ, G., VALCARCE DIÑEIRO, R. y LLORDÉN POZO, J.M. 2013. *Generación de cartografía de modelos de combustible a partir de datos LiDAR y análisis de imágenes orientado a objetos para su integración en Wildfire Analyst*. Vitoria-Gasteiz : Sociedad Española de Ciencias Forestales, 2013. Tecnicos Silva sl. ISBN:978-84-937964-9-5.

Región de Murcia. 2009. *Plan Integral de Prevención y Defensa Contra Incendios del Parque Regional de Carrascoy y El Valle*. Murcia : Consejería de Agricultura y Agua, 2009.

Riaño, David, Chuvieco, Emilio y Salas, Javier. 2001. *Cartografía de modelos de combustible con teledetección: Aportaciones a un desarrollo ambiental sostenible*. Madrid : CSIC, 2001. Vol. LXII.

Riaño, David, et al. 2007. *Estimation of shrub height for fuel-type mapping combining airborne LiDAR and simultaneous color infrared ortho imaging*. s.l. : CSIRO PUBLISHING, 2007. 1049-8001/07/030341.

—. **2007.** *Estimation of shrub height for fuel-type mapping combining airborne LiDAR and simultaneous color infrared ortho imaging*. s.l. : CSIRO PUBLISHING, 2007. 1049-8001/07/030341.

Rivas Martínez, S. 1987. *Mapa de las Series de Vegetación de la Península Ibérica*. Madrid : ICONA, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1987. ISBN:84-85496-25-6.

Salas, Javier y Cocero, David. 2004. *El concepto de peligro de incendio. Sistemas actuales de estimación del peligro*. [aut. libro] Emilio Chuvieco y María del Pilar Martín. *Nuevas tecnologías para la estimación del riesgo de incendios forestales*. Madrid : CSIC, 2004.

Union Europea. 2006. *Decision de la comisión C(2006) 3261, de 19 de julio*. Diario Oficial de la Unión Europea, 19 julio 2006, num. 259, p.1-97. 2006.

Valencia Sanchez, Helena. 2000. *Cartografía temática de la vegetación y usos del suelo*. Madrid : E.T.S.I Montes, 2000.

Vélez Muñoz, Ricardo. 2009. *La Defensa Contra Incendios Forestales, Fundamentos y Experiencias*. s.l. : MCGRAW-HILL / INTERAMERICANA DE ESPAÑA, 2009. 9788448168919.

Vélez, R. 2000. *La defensa contra incendios forestales. Fundamentos y experiencias.* Madrid : McGraw-Hill/Interamericana de España, 2000. ISBN: 9788448168919.

Vilar del Hoyo, L., Gómez Nieto, I., Martín Isabel, M.P., Martínez Vega, F.J. 2007. *Análisis comparativo de diferentes métodos para la obtención de modelos de riesgo humano de incendios forestales.* Madrid : CSIC, 2007.

Anexo I. Herramientas y códigos FUSION

Herramientas de FUSION-LTK utilizadas: Muchas de las herramientas muestran más funcionalidades de las aquí descritas, pero se ha decidido incluir solo la parte utilizada.

1. **Catalog:** La herramienta Catalog produce un informe con las características principales de los datos LiDAR que se necesiten analizar. Da como resultado una hoja HTML con toda la información requerida.

Sintaxis:

Catalog [Switches] Ruta de archivo de entrada [Ruta de archivo de salida]

2. **FilterData:** Esta herramienta aplica los filtros requeridos a los archivos con los datos de retornos para crear un nuevo archivo con solo los puntos que cumplen las especificaciones indicadas.

Sintaxis:

Filterdata [Switches] Filtertype Filterparms Windowsize [Ruta de archivo de salida] Ruta de archivo de entrada

-Filtertype: Tipo de filtro a utilizar (Outlier, Minimum o Máximo)

-Filterparms: Parámetros específicos del tipo de filtro a utilizar.

-Windowsize: Tamaño de ventana seleccionado, que el programa usa para computar la desviación típica y eliminar puntos atípicos.

-Switches: El único utilizado ha sido class que filtra los archivos ya clasificados descartando las clases que se indiquen.

3. **ImageCreate:** Crea una imagen a partir de datos LiDAR usando el valor de la intensidad o de altura del retorno más alto para cada punto. La imagen creada se utiliza para la visualización de esos archivos LiDAR en FUSION.

Sintaxis:

Imagecrate [Switches] ImageFile name Pixelsize [Ruta de archivos de entrada]

4. **Groundfilter:** Es la herramienta adecuada para filtrar una nube de puntos en bruto e identificar aquellos retornos que pertenecen al suelo.

Esta herramienta no produce un filtrado perfecto pero es suficiente para la creación de MDS.

Sintaxis:

GroundFilter [Switches] [Ruta de archivo de salida] cellsize [Ruta de archivos de entrada]

-Cellsize: Tamaño de celda de las superficies intermedias que crea el programa, no del modelo final.

5. **Gridsurfacecreate:** Crea un modelo digital de elevaciones cuadriculado usando los datos de la herramienta Groundfilter.

Sintaxis:

Gridsurfacecreate [Switches] Surfacefile cellsize Datos de proyección y unidades [Ruta de archivos de entrada]

-Datos de proyección y unidades: Hay que indicar las unidades (en nuestro caso metros) el sistema coordenadas utilizado y el datum.

6. **Canopymodel:** Esta herramienta crea una capa con la altura de la vegetación en cada punto. También si no se incluye un MDT el resultado sería un MDV (modelo digital de vegetación) en formato TIN.

Sintaxis:

Canopymodel [Switches] surfacefile cellsize Datos de proyección y unidades [Ruta de archivos de entrada]

-Surfacefile: Modelo digital del terreno a incluir si lo que se quiere es una capa con la altura de la vegetación.

7. **Cover:** Esta herramienta calcula la FCC usando una malla cuyas especificaciones hay que incluir en la línea de comandos.

Sintaxis:

Cover [Switches] Groundfile Coverfile Heightbreak cellsize Datos de proyección y unidades [Ruta de archivos de entrada]

-Heightbreak: Altura limita para el cálculo de la FCC

8. **DTM2ASCII:** Herramienta de conversión de las capas en formato DTM a formato Ascii que se puede importar a sistemas de información geográfica como ArcGis.

Sintaxis:

DTM2ASCII [Switches] Ruta de archivo de entrada [Ruta de archivo de salida]

Comandos utilizados: A continuación se presentan los comandos utilizados para procesar cada uno de los grupos de hojas LiDAR

Estudio de nuevas tecnologías aplicadas a la prevención y extinción de incendios forestales: Caso de estudio Parque Nacional de Cabañeros.

1. Pinar

```
catalog /image /index /coverage /firstdensity:2,1,3 /intensity:2,0,255 /outlier C:\Users\javier\Desktop\DatosLiDAR\LiDAR_Pinar\Pinar_titles.txt C:\Users\javier\Desktop\DatosLiDAR\LiDAR_Pinar\catalog

FilterData /Class:2,3,4,5 outlier 5.0 100 C:\Users\javier\Desktop\DatosLiDAR\LiDAR_Pinar\filtrado\1filtrado.las C:\Users\javier\Desktop\DatosLiDAR\LiDAR_Pinar\Pinar_titles.txt

catalog C:\Users\javier\Desktop\DatosLiDAR\LiDAR_Pinar\filtrado\1filtrado.las C:\Users\javier\Desktop\DatosLiDAR\LiDAR_Pinar\catalog\

ImageCreate C:\Users\javier\Desktop\DatosLiDAR\LiDAR_Pinar\filtrado\imagen.bmp 2 C:\Users\javier\Desktop\DatosLiDAR\LiDAR_Pinar\filtrado\2filtrado.las

Groundfilter /gparam:-1 /wparam:2 /tolerance:0.1 /iterations:10 C:\Users\javier\Desktop\DatosLiDAR\LiDAR_Pinar\filtrado\groundfiltrado1.las 2 C:\Users\javier\Desktop\DatosLiDAR\LiDAR_Pinar\filtrado\2filtrado.las

catalog C:\Users\javier\Desktop\DatosLiDAR\LiDAR_Pinar\filtrado\groundfiltrado1.las C:\Users\javier\Desktop\DatosLiDAR\LiDAR_Pinar\catalog\g1

gridsurfacecreate C:\Users\javier\Desktop\DatosLiDAR\LiDAR_Pinar\filtrado\bare1.dtm 2 M M 1 12 2 2 C:\Users\javier\Desktop\DatosLiDAR\LiDAR_Pinar\filtrado\groundfiltrado3.las

DTM2ASCII /raster C:\Users\javier\Desktop\DatosLiDAR\LiDAR_Pinar\filtrado\bare1.dtm C:\Users\javier\Desktop\DatosLiDAR\LiDAR_Pinar\filtrado\bare1Arc

canopymodel /ground:C:\Users\javier\Desktop\DatosLiDAR\LiDAR_Pinar\filtrado\bare1.dtm C:\Users\javier\Desktop\DatosLiDAR\LiDAR_Pinar\filtrado\1CHMpinar.dtm 2 M M 1 12 2 2 C:\Users\javier\Desktop\DatosLiDAR\LiDAR_Pinar\filtrado\2filtrado.las

DTM2ASCII /raster C:\Users\javier\Desktop\DatosLiDAR\LiDAR_Pinar\filtrado\1CHMpinar.dtm C:\Users\javier\Desktop\DatosLiDAR\LiDAR_Pinar\filtrado\CHMpinar1Arc

Cover C:\Users\javier\Desktop\DatosLiDAR\LiDAR_Pinar\filtrado\bare1.dtm C:\Users\javier\Desktop\DatosLiDAR\LiDAR_Pinar\filtrado\1coverpinar.dtm 4 15 m m 1 30 0 0 C:\Users\javier\Desktop\DatosLiDAR\LiDAR_Pinar\filtrado\2filtrado.las

DTM2ASCII /raster C:\Users\javier\Desktop\DatosLiDAR\LiDAR_Pinar\filtrado\1coverpinar.dtm C:\Users\javier\Desktop\DatosLiDAR\LiDAR_Pinar\filtrado\1coverpinarArc

De nuevo:

FilterData /Class:3,4 outlier 5.0 100 C:\Users\javier\Desktop\DatosLiDAR\LiDAR_Pinar\filtrado\filtradobaja.las C:\Users\javier\Desktop\DatosLiDAR\LiDAR_Pinar\Pinar_titles.txt

canopymodel /ground:C:\Users\javier\Desktop\DatosLiDAR\LiDAR_Pinar\filtrado\bare1.dtm C:\Users\javier\Desktop\DatosLiDAR\LiDAR_Pinar\filtrado\CHMpinarbaja.dtm 2 M M 1 30 0 0 C:\Users\javier\Desktop\DatosLiDAR\LiDAR_Pinar\filtrado\filtradobaja.las

DTM2ASCII /raster C:\Users\javier\Desktop\DatosLiDAR\LiDAR_Pinar\filtrado\CHMpinarbaja.dtm C:\Users\javier\Desktop\DatosLiDAR\LiDAR_Pinar\filtrado\CHMpinarbajaArc

FilterData /Class:5 outlier 5.0 100 C:\Users\javier\Desktop\DatosLiDAR\LiDAR_Pinar\filtrado\filtradoalta.las C:\Users\javier\Desktop\DatosLiDAR\LiDAR_Pinar\Pinar_titles.txt
```


Estudio de nuevas tecnologías aplicadas a la prevención y extinción de incendios forestales: Caso de estudio Parque Nacional de Cabañeros.

2. Raña

```
catalog /image /index /coverage /firstdensity:2,1,3 /intensity:2,0,255 /outlier C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_Raña\Raña_titles.txt C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_Raña\catalog
|
FilterData /Class:2,3,4,5 outlier 5.0 100 C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_Raña\filtrado\Rañafiltrado1.las C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_Raña\Raña_titles.txt

catalog C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_Raña\filtrado\Rañafiltrado1.las C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_Raña\catalog\1

Groundfilter /median:100/gparam:-1 /wparam:2 /tolerance:0.1 /iterations:10 C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_Raña\filtrado\groundRaña3.las 2 C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_Raña\filtrado\Rañafiltrado2.las

gridsurfacecreate C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_Raña\filtrado\BareRaña1.dtm 2 M M 1 30 0 0 C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_Raña\filtrado\groundRaña3.las

DTM2ASCII /raster C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_Raña\filtrado\BareRaña1.dtm C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_Raña\filtrado\BareRañaArc

canopymodel /ground:C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_Raña\filtrado\BareRaña1.dtm C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_Raña\filtrado\CHM1.dtm 2 M M 1 30 0 0 C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_Raña\filtrado\Rañafiltrado2.las

DTM2ASCII /raster C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_Raña\filtrado\CHM1.dtm C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_Raña\filtrado\CHMArc

Cover C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_Raña\filtrado\BareRaña1.dtm C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_Raña\filtrado\coverRaña.dtm 4 15 m m 1 30 0 0 C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_Raña\filtrado\Rañafiltrado2.las

DTM2ASCII /raster C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_Raña\filtrado\coverRaña.dtm C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_Raña\filtrado\coverRañaArc

De nuevo para diferenciar entre las clases 6 y 7 se trato de:

FilterData /Class:3,4 outlier 3.0 10 C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_Raña\filtrado\Rañafiltradobaja.las C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_Raña\Raña_titles.txt

canopymodel /ground:C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_Raña\filtrado\BareRaña1.dtm C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_Raña\filtrado\CHMbaja.dtm 2 M M 1 30 0 0 C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_Raña\filtrado\Rañafiltradobaja.las

DTM2ASCII /raster C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_Raña\filtrado\CHMbaja.dtm C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_Raña\filtrado\CHMbajaArc

FilterData /Class:5 outlier 3.0 10 C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_Raña\filtrado\Rañafiltradoalta.las C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_Raña\Raña_titles.txt

canopymodel /ground:C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_Raña\filtrado\BareRaña1.dtm C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_Raña\filtrado\CHMalta.dtm 2 M M 1 30 0 0 C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_Raña\filtrado\Rañafiltradoalta.las

DTM2ASCII /raster C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_Raña\filtrado\CHMalta.dtm C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_Raña\filtrado\CHMaltArc
```

Estudio de nuevas tecnologías aplicadas a la prevención y extinción de incendios forestales: Caso de estudio Parque Nacional de Cabañeros.

3. Sierra

```
catalog /image /index /coverage /firstdensity:2,1,3 /intensity:2,0,255 /outlier C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_MB\MB1\MB1_titles.txt C:\Users\javier\Desktop
\DatosLIDAR\LIDAR_MB\MB1\catalog

FilterData /Class:2,3,4,5 outlier 5.0 100 C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_MB\MB1\filtrado\MB1filtrado.las C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_MB\MB1\MB1_titles.tx

catalog C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_MB\MB1\filtrado\MB1filtrado.las C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_MB\MB1\catalog\1

Groundfilter /gparam:-1 /wparam:2 /tolerance:0.1 /iterations:15 C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_MB\MB1\GroundMB1.las 2 C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR
\LIDAR_MB\MB1\filtrado\MB4filtrado.las

catalog C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_MB\MB1\GroundMB1.las C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_MB\MB1\catalog\g1

gridsurfacecreate C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_MB\MB1\filtrado\bareMB1.dtm 2 M M 1 12 2 2 C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_MB\MB1\filtrado\GroundMB2.las

DTM2ASCII /raster C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_MB\MB1\filtrado\bareMB1.dtm C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_MB\MB1\filtrado\bareMB1Arc

canopymodel /ground:C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_MB\MB1\filtrado\bareMB1.dtm C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_MB\MB1\filtrado\CHM.MB1.dtm 2 M M 1 30 0 0 C:\
Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_MB\MB1\filtrado\MB4filtrado.las

DTM2ASCII /raster C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_MB\MB1\filtrado\CHM.MB1.dtm C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_MB\MB1\filtrado\CHM.MB1Arc

Cover C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_MB\MB1\filtrado\bareMB1.dtm C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_MB\MB1\filtrado\coverMB1.dtm 4 15 m m 1 30 0 0
C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_MB\MB1\filtrado\MB4filtrado.las

DTM2ASCII /raster C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_MB\MB1\filtrado\coverMB1.dtm C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_MB\MB1\filtrado\cover.MB1Arc

De nuevo:

FilterData /Class:3,4 outlier 2.0 10 C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_MB\MB1\filtrado\MBfiltradobaja.las C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_MB\MB1
\MB1_titles.txt

canopymodel /ground:C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_MB\MB1\filtrado\bareMB1.dtm C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_MB\MB1\filtrado\CHMMb1baja.dtm 2 M M 1 30 0
C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_MB\MB1\filtrado\MBfiltradobaja.las

DTM2ASCII /raster C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_MB\MB1\filtrado\CHMMb1baja.dtm C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_MB\MB1\filtrado\CHMMb1bajaArc

FilterData /Class:5 outlier 2.0 10 C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_MB\MB1\filtrado\MBfiltradoalta.las C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_MB\MB1\MB1_titles.txt

canopymodel /ground:C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_MB\MB1\filtrado\bareMB1.dtm C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_MB\MB1\filtrado\CHMMb1alta.dtm 2 M M 1 30 0
0 C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_MB\MB1\filtrado\MBfiltradoalta.las

DTM2ASCII /raster C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_MB\MB1\filtrado\CHMMb1alta.dtm C:\Users\javier\Desktop\DatosLIDAR\LIDAR_MB\MB1\filtrado\CHMMb1altaArc
```


Fotos FUSION: A continuación se muestran tres ejemplos de visualización de los datos LiDAR con FUSION/LDV.

1-Pinar: Zona límite del pinar, con un cantón cortado a hecho.

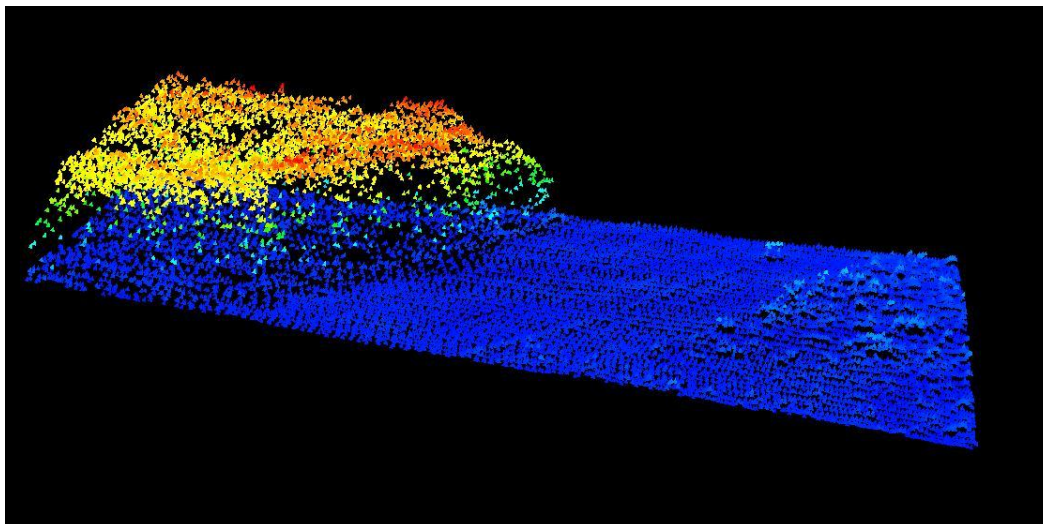


Figura 31 : Visualización de datos LiDAR del pinar.

En la Figura 32 en gris se observa el MDT creado. Los puntos azules corresponden con los retornos del suelo.

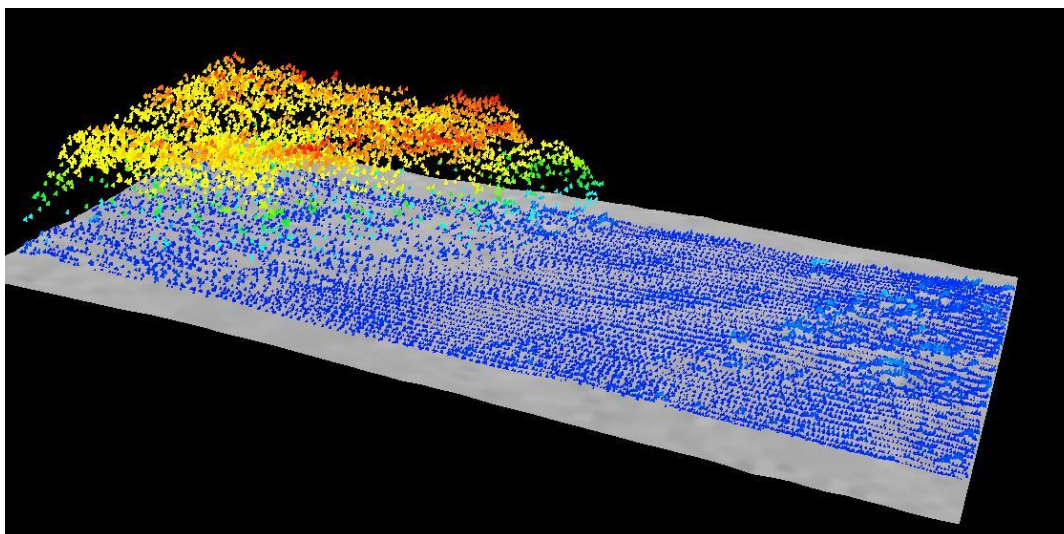


Figura 32: MDT creado con FUSION.

2-Raña: En la Figura 33 y la Figura 34 se muestra la visualización de la zona adehesada de la raña.

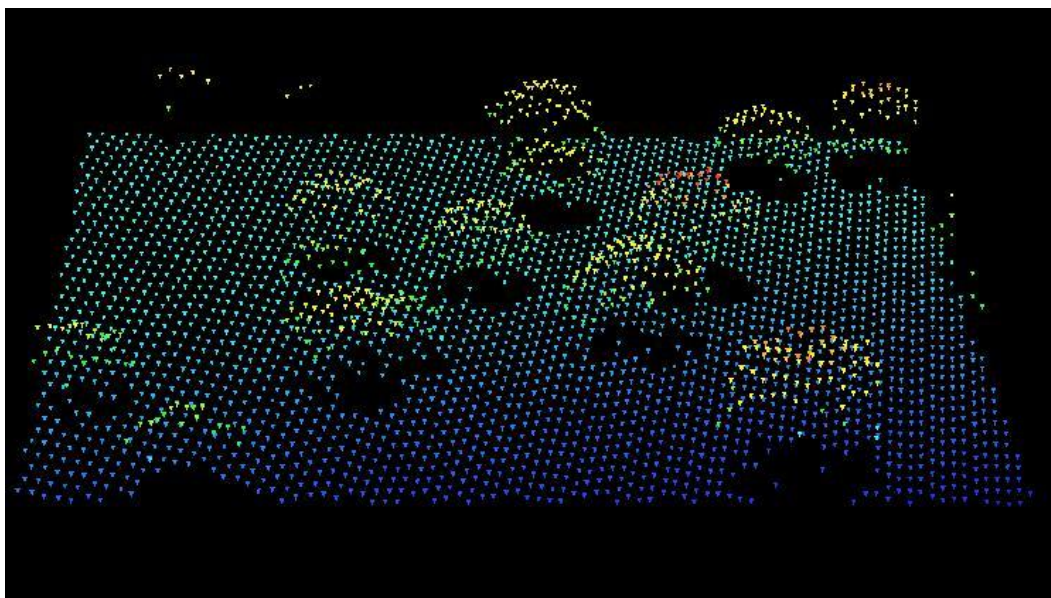


Figura 33: Visualización de datos LiDAR de la raña.

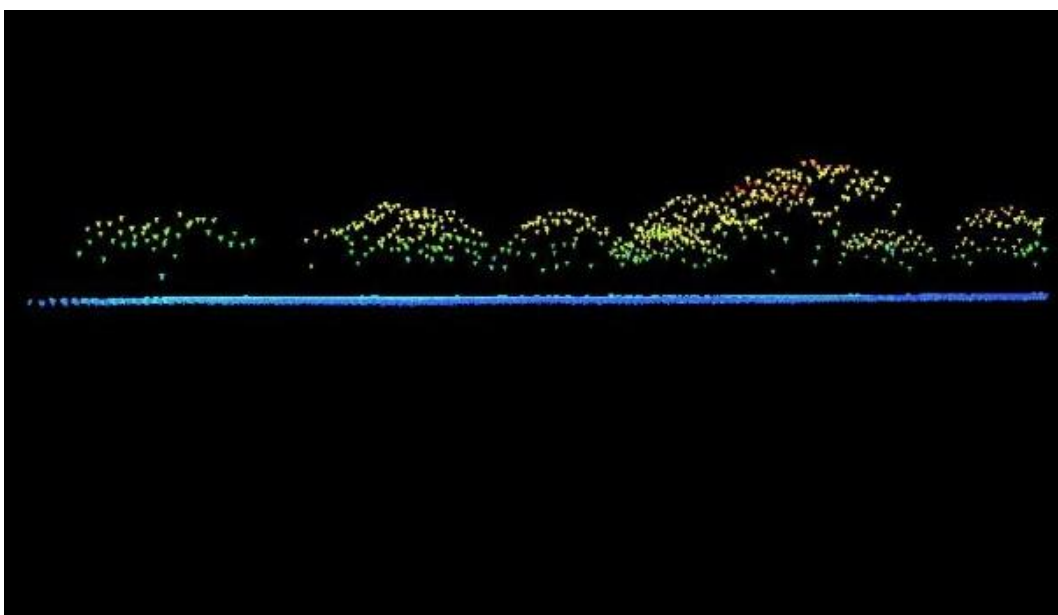


Figura 34: Detalle desde otro ángulo.

3-Sierras: En la Figura 35 se observa un canchal que recorre la imagen rodeado de monte bajo.

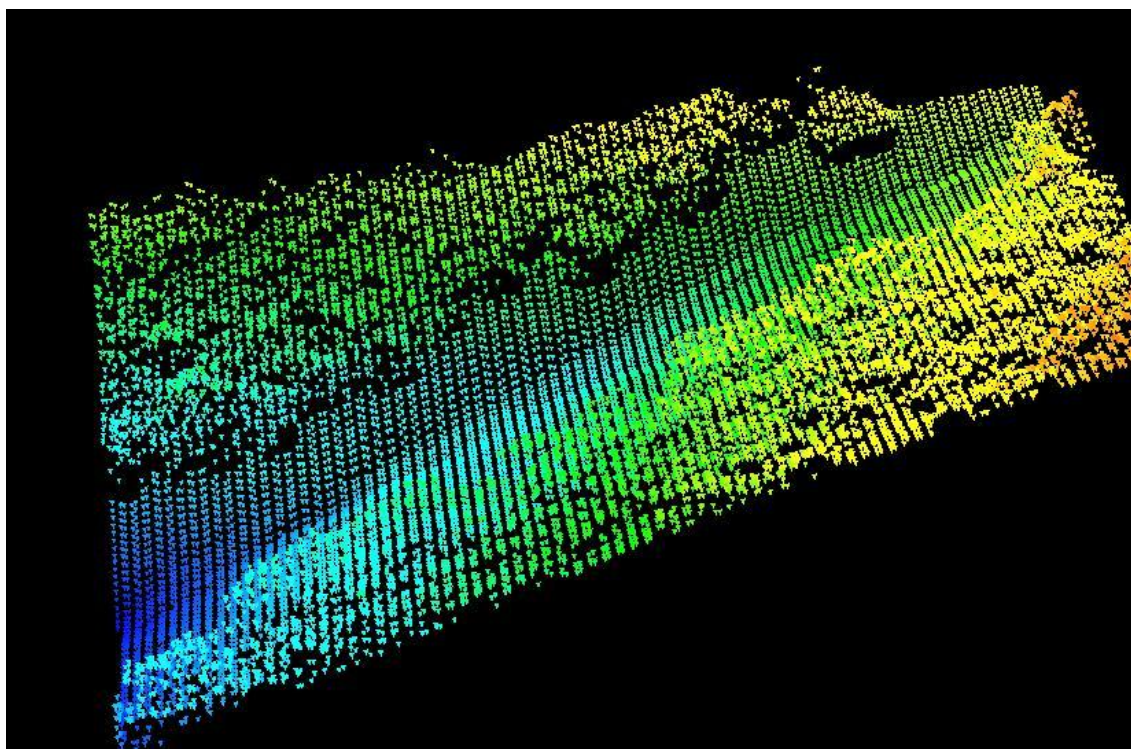


Figura 35: Visualización de datos LiDAR sierra.

En las siguientes se observa una pista forestal que discurre entre el monte bajo. (Figura 36, Figura 37)

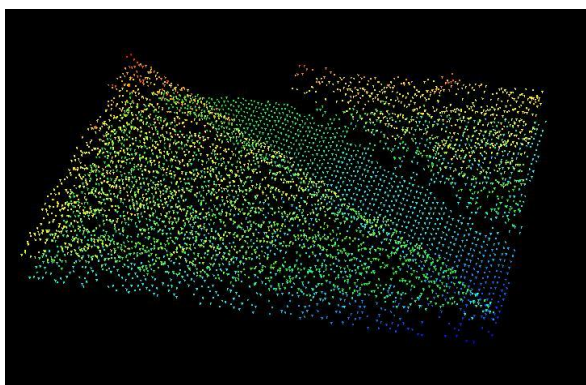


Figura 37: Pista forestal.

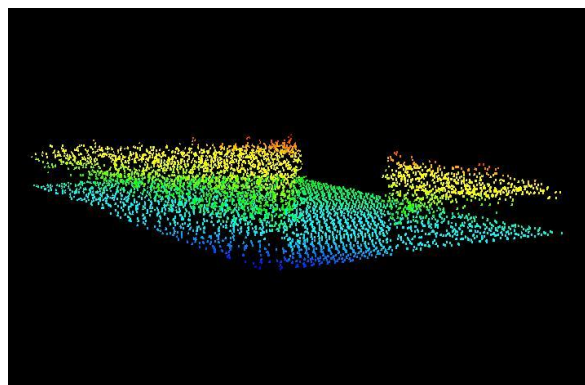


Figura 36: Pista forestal desde otro ángulo.

Anexo II. Contenido CD

1. Tabla con asignación de modelos de combustible en formato Excel.
2. Capas LiDAR.
 - a) Capa altura de la vegetación
 - b) Capa de FCC
3. Mapas:
 - a) Mapa de modelos de combustible (raster).
 - b) Mapa de peligrosidad del medio (raster).
 - c) Mapa de isocronas terrestres.